Қ.ҚҰЛАЖАНОВ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ТЕХНОЛОГИЯ ЖӘНЕ БИЗНЕС УНИВЕРСИТЕТІ

K.KULAZHANOV KAZAKH UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND BUSINESS

КАЗАХСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИИ И БИЗНЕСА ИМЕНИ К.КУЛАЖАНОВА

KAZ | UTB

ХАБАРШЫСЫ | ВЕСТНИК | VESTNIK

№ 2 (31) - 2026

ҚазТБУ хабаршысы

Вестник КазУТБ

Vestnik KazUTB



ISSN (Print) 2708 - 4132
ISSN (Online) 2663 - 1830

ISSN (Print) 2708 - 4132
ISSN (Online) 2663 - 1830

№ 2 (31) - 2026

Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті

Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhanov

Казахский университет технологии и бизнеса имени К.Кулажанова

ҚазТБУ ХАБАРШЫСЫ

VESTNIK KazUTB

ВЕСТНИК КазУТБ

Жылына 4 рет шығады
Published 4 times a year
Выходит 4 раза в год

Астана - 2026
Astana - 2026

Бас редактор: Байболова Л.К.

техн. ғыл. докторы, профессор, ректоры

Бас редактордың орынбасары: Айбульдинов Е.К.

философия докторы (PhD), (Қазақстан)

Редакция алқасы:

Құлажанов Қ.С. х.ғ.д., профессор, ҚР ҰҒА академигі (Қазақстан)

Мансуров З.А. х.ғ.д., профессор, ҚР ҰҒА академигі (Қазақстан)

Фазылов С.Д. х.ғ.д., профессор, ҚР ҰҒА академигі (Қазақстан)

Құлажанов Т.К. т.ғ.д., профессор, ҚР ҰҒА академигі (Қазақстан)

Ізтаев А.И. т.ғ.д., профессор,ҚР ҰҒА академигі (Қазақстан)

Төлтабаев М.Ч. т.ғ.д., профессор (Қазақстан)

Нұрахметов Б.К. т.ғ.д., профессор (Қазақстан)

Шеров Т.К. т.ғ.д., профессор (Қазақстан)

Mercade P.R. философия докторы (PhD) (Испания)

Кәкімов А.К. т.ғ.д., профессор (Қазақстан)

Узаков Я.М. т.ғ.д., профессор (Қазақстан)

Додаев К.О. т.ғ.д., профессор (Өзбекстан)

Кузнецов О.Л. т.ғ.д., профессор (Ресей)

Мымрин В.А. т.ғ.д., профессор (Бразилия)

Маткаримов Б.Т. т.ғ.д., профессор (Қазақстан)

Мұхамедиев Б.М. э.ғ.д., профессор (Қазақстан)

Смағұлова Ш.А. э.ғ.д., профессор (Қазақстан)

Пешков В. философия докторы (PhD), (Бельгия)

Искакова Ж.Б. х.ғ.к., профессор м.а. (Қазақстан)

Жауапты редактор, ф. - м. ғ. к. - М.К.Оспанова

Меншіктенуші: «Қазақ технология және бизнес университеті» АҚ

ҚР Ақпарат және коммуникациялар министрлігінде 07. 02.2014 ж. № 14139-Ж тіркеу куәлігімен тіркелген.

Екінші тіркеу:11.02.2020 - № KZ46VPY00020253.

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

ISSN: 2708-4132, **ISSN (Online):** 2663-1830

Тақырыптық бағыт: Ақпараттық-коммуникациялық және химиялық технология, Өңдеу және өңдеуші өнеркәсіптер (азық-түлік өнімдерінің технологиясы, тау-кен, мұнай-газ ісі), Экономика, бизнес және қызмет көрсету.

Редакцияның мекенжайы: 010000, Қазақстан, Астана қ., Қайым Мұхамедханов к-сі, 37 «А», тел.: +7(7172)72-58-12 (134), e-mail: vestnik@kaztbu.edu.kz

© Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті

Главный редактор: Байболова Л.К.

д.т.н., профессор, Ректор

Заместитель главного редактора: Айбульдинов Е.К.

доктор философии (PhD), (Казахстан)

Редакционная коллегия:

Кулажанов К.С. д.х.н., профессор, академик НАН РК (Казахстан)

Мансуров З.А.. д.х.н., профессор, академик НАН РК (Казахстан)

Фазылов С.Д. д.х.н., профессор, академик НАН РК (Казахстан)

Кулажанов Т.К. д.т.н., профессор, академик НАН РК (Казахстан)

Изтаев А.И. д.т.н., профессор, академик НАН РК (Казахстан)

Тултабаев М.Ч.. д.т.н., профессор (Казахстан)

Нурахметов Б.К. д.т.н., профессор (Казахстан)

Шеров Т.К. д.т.н., профессор (Казахстан)

Mercade P.R. доктор философии (PhD) (Испания)

Какимов А.К. д.т.н., профессор (Казахстан)

Узаков Я.М. д.т.н., профессор (Казахстан)

Додаев К.О. д.т.н., профессор (Узбекистан)

Кузнецов О.Л. д.т.н., профессор (Россия)

Мымрин В.А. д.т.н., профессор (Бразилия)

Маткаримов Б.Т. д.т.н., профессор (Казахстан)

Мухамедиев Б.М. д.э.н., профессор (Казахстан)

Смагулова Ш.А. д.э.н., профессор (Казахстан)

Пешков В. доктор философии (PhD), (Бельгия)

Искакова Ж.Б . к.х.н., асс. профессор (Казахстан)

Ответственный редактор, к.ф.-м.н. - М.К.Оспанова

Собственник: АО «Казахский университет технологии и бизнеса».

Регистрация: Министерство информации и коммуникаций Республики Казахстан. Комитет Информации.

Дата и номер первичной постановки на учет: № 14139-Ж от 07.02.2014.

Вторичная постановка на учет: 11.02.2020 - № KZ46VPY00020253.

Периодичность: Ежеквартально.

ISSN: 2708- 4132, **ISSN (Online):** 2663-1830.

Тематическая направленность: Информационно-коммуникационные и химические технологии, Производственные и обрабатывающие отрасли (технология продовольственных продуктов, горное дело, нефтегазовое дело, Экономика, бизнес и услуги).

Адрес редакции: 010000, г. Астана, Есильский район, ул.Кайыма Мухамедханова, 37 «А» тел.: +7(7172)72-58-12 (134), e-mail: vestnik@kaztbu.edu.kz

© Казахский университет технологии и бизнеса К.Кулажанова

Chief editor: Baybolova L.K.

Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector

Deputy editor: Aibuldinov Ye.K.

Doctor of Philosophy (PhD), (Kazakhstan)

Editorial board:

Kulazhanov K. S. Doctor of Chemistry Sciences, Academician NAS RK (Kazakhstan)

Mansurov Z. A. Doctor of Chemistry Sciences, Academician NAS RK (Kazakhstan)

Fazylov S.D. Doctor of Chemistry Sciences, Academician NAS RK (Kazakhstan)

Kulazhanov T.K. Doctor of Technical Sciences, Academician NAS RK (Kazakhstan)

Iztayev A.I. Doctor of Technical Sciences, Academician NAS RK (Kazakhstan)

Tultabaev M.Ch. Doctor of Technical Sciences, Professor (Kazakhstan)

Nurakhmetov B.K. Doctor of Technical Sciences, Professor (Kazakhstan)

Sherov T.K. Doctor of Technical Sciences, Professor (Kazakhstan)

Mercade P.R. Doctor of Philosophy (PhD) (Spain)

Kakimov A.K. Doctor of Technical Sciences, Professor (Kazakhstan)

Uzakov Ya.M. Doctor of Technical Sciences, Professor (Kazakhstan)

Dodayev K.O. Doctor of Technical Sciences, Professor (Uzbekistan)

Kuznetsov O.L. Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Mymrin V. A. Doctor of Technical Sciences, Professor (Brazil)

Matkarimov B.T. Doctor of Technical Sciences, Professor (Kazakhstan)

Mukhamediyev B. Doctor of Economics, Professor (Kazakhstan)

Smagulova A.S. Doctor of Economics, Professor (Kazakhstan)

Peshkov V. Doctor of Philosophy (PhD) (Belgium)

Iskakova J.B. Candidate of Chemical Sciences, ass.Professor (Kazakhstan)

Responsible editor, Candidate of Physical and Mathematical Sciences - M.K.Ospanova

Owner: JSC «Kazakh University of technology and business».

Registration: Ministry of information and communications of the Republic of Kazakhstan. Committee of Information.

Date and number of initial registration: 14139-Z from 07.02.2014.

Secondary registration: 11.02.2020- № KZ46VPY00020253.

Frequency: Quarterly.

ISSN: 2708- 4132, **ISSN (Online):** 2663-1830.

Thematic direction: Information and communication and chemical technologies, Manufacturing and manufacturing industries (food technology, mining, oil and gas business), Economy, business and services.

Address of edition: 010000, Astana city, Esil district, Kaiym Mukhamedkhanov Street, 37 «A», tel.: +7(7172)72-58-12 (134), e-mail: vestnik@kaztbu.edu.kz

©Kazakh University of technology and business named after K.Kulazhanov

МАЗМҰНЫ – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENTS

Информационно-коммуникационные и химические технологии

1 Информационно-коммуникационные технологии **1**

Г.Т. Даненова, Т.Б. Ахметжанов, М.М. Коккоз
WEB-ҚОСЫМШАНЫҢ ЖҰМЫСЫНЫҢ ОСАЛДЫҒЫН ЗЕРТТЕУ 1

A.A. Kulzhanova, V.A. Zhmud
HYBRID MODEL OF MULTI-FACTOR AUTHENTICATION BASED ON DETERMINISTIC AUTOMATA AND STREAM CIPHERING 11

Ә.Е. Ержан, А.Т. Ахмедиярова, Ж.К. Алимсеитова
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДЕТЕКЦИИ СИНТЕТИЧЕСКОЙ РЕЧИ И ЗАЩИТЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ВЕРИФИКАЦИИ ДИКТОРА ОТ АТАК ПОДМЕНЫ ГОЛОСА 23

К. Акишев, А. Подвалов, А. Зейнуллин, Е. Айбульдинов, М. Оспанова, А. Нурмаганбетов, М. Чагай, М. Айтиева, С. Хусаинова, Н. Токтар
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФЛОТАЦИИ НА ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКЕ 43

Ж.А. Муканова, М.М. Есмагамбетова, Т.У. Есмагамбетов, А.Б. Байсымакова
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ 1D-CNN ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ ДАННЫМ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО ДАТЧИКА 57

S.Ye. Sharipova, A.S. Akanova, N.N. Ospanova
NEURAL NETWORK-BASED FORECASTING OF SPRING WHEAT YIELD IN RESPONSE TO PHOSPHORUS APPLICATION IN KAZAKHSTAN 70

Д. Жамангарин, У. Жунисова К. Акишев, Г. Изтелеуова
АСТАНА-КӨКШЕТАУ АҚЫЛЫ ЖОЛЫНДАҒЫ ҚОЗҒАЛЫС ҚАУІПСІЗДІГІН АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ТАЛДАУ 82

A.T. Mazakova, Sh.A. Jomartova, A.L. Yessenbaeva, A.A. Kulzhanova, B. Zhao
HYBRID ENCRYPTION ARCHITECTURE BASED ON CHAOTIC DYNAMICS AND AES-GCM ALGORITHM FOR PROTECTING MULTIMEDIA DATA 100

A.N. Tokzhigitova, D.N. Yerzhembayev, S.K. Zhumagulova
A BLOCKCHAIN-ENABLED ARCHITECTURE FOR SECURE PERSONAL DATA PROCESSING AND STORAGE 112

Ж.К. Абдугулова, Н.Н. Сейт, Д.С. Жамангарин, А.А. Танирбергенова
МҰНАЙ ӨҢДЕУ ЗАУЫТЫНДА ӨНДІРІС ПРОЦЕСІН БАСҚАРУДЫ АВТОМАТТАНДЫРУ . 127

Г.Б. Бахадирова, Н. Тасболатұлы, Д.Б. Баумуратова, К. Әлімхан, Ш. Тураев
УАҚЫТ КЕШІГУІ БАР ЖОҒАРЫ РЕТТІ КОММУТАЦИЯЛЫҚ СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ЖҮЙЕЛЕРДІ ГЛОБАЛЬДЫ ШЫҒЫС КЕРІ БАЙЛАНЫС АРҚЫЛЫ БАСҚАРУ 153

A.D. Tulegulov, A.M. Jumagaliyeva, M.Sh. Nurmagambetov, B.O. Sataev, I. Dyussebayev, B.E. Sattykova, Zh. Taishygara
AUTOMATION OF SELECTIVE LASER MELTING (SLM) PARAMETERS CONTROL BASED ON COMPUTER ANALYSIS OF THE GRANULOMETRIC COMPOSITION OF METAL POWDERS 170

2 Химическая технология **178**

Р.И. Джусупкалиева, Н.М. Жумагалиева, А.Б. Кыдрашов, С.И. Помогайло, В.Н. Борщ, Е.В. Пугачева, А.В. Рухов
БАТЫС ҚАЗАҚСТАННЫҢ МИНЕРАЛДЫҚ ЖӘНЕ КӨМІРСУТЕКТІ ШИКІЗАТЫ НЕГІЗІНДЕ КАТАЛИЗАТОРЛАР ӘЗІРЛЕУ 178

M.K. Kazankapova, B.T. Yermagambet, A.B. Malgazhdarova, A.S. Akshekina, Zh.M. Kassenova, N.S. Akimbekov, K.T. Tastambek, A.M. Malik, M.H. Kozhakhmetova, U.M. Kozhamuratova, K.B. Kaliyev, N. Bakhytuly
PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF ACTIVATED CARBONS FROM SAWDUST AND THEIR APPLICATION IN WATER PURIFICATION 191
К. Акишев, А. Подвалов, А. Зейнуллин, Е. Айбульдинов, А. Нурмаганбетов, М. Оспанова, М. Чагай, М. Айтиева, С. Хусаинова, Н. Токтар
ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПУЛЬПЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФЛОТАЦИИ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ КОНТРОЛЕ ПАРАМЕТРОВ 211
С.Д. Фазылов, А.К. Сыздыков, О.А. Нүркенов, С.Ж. Ахметқалиев, Б.Н. Каримова
ОЛИГОҚАНТ ЕРІТІНДІСІНДЕГІ КҮМІС ИОНДАРЫНЫҢ ТОТЫҚСЫЗДАНУ ҮЛГІСІНЕ ӘРТҮРЛІ ЖАҒДАЙЛАРДЫҢ ӘСЕРІ 231
Д.К. Нуркадыров, Х.И. Итжанова, Wirginia Kukula-Koch, П.Ж. Бекишева
ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСТРАКТА И ФИТОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ LINARIA VULGARIS *MILL.* 238
А.А. Тилегенов, А.И. Әбілхайыров, Г.К. Шамбилова, А.С. Калауова, Э.Б. Жунусова
ОКТАДЕЦЕН-1 МЕН ДИОКТАДЕЦИЛФУМАРАТ НЕГІЗІНДЕГІ СОПОЛИМЕРЛЕРДІ СИНТЕЗДЕУ ЖӘНЕ ПАРАФИНДІ МҰНАЙЛАРҒА АРНАЛҒАН ДЕПРЕССОРЛЫҚ ҚОСЫМ РЕТІНДЕ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ 247
А.Н. Галим, Э.Б. Жунусова, Н.У. Нургалиев, Х.Б. Омаров, А.К. Жумабекова, Ш.Ж. Усенкулова, А.С. Калауова, С.Ж. Калыхбергенова
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОПИЛЕНА: ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕГИДРИРОВАНИЯ ПРОПАНА 259
M.B. Baimakhanova, I.M. Jurinskaya, T. Onggar
RESEARCH OF TEXTILE MATERIALS WITH SPECIAL PROPERTIES 274
Н.У. Нургалиев, Х.Б. Омаров, Н.Т. Смайлова, Э.Б. Жунусова, Д.Д. Мейрам, Э.К. Каржаова
ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ УГЛЯ . . . 284

Производственные и обрабатывающие отрасли

3 Пищевая технология **297**
Г.Е. Жумалиева, У. Чоманов, Т.М. Жумалиева
ВЛИЯНИЕ СМЕСЕЙ СПИРТОВЫХ ЭКСТРАКТОВ ЧЕСНОКА, КРАСНОГО ПЕРЦА, ПЕТРУШКИ И СЕЛЬДЕРЕЯ НА ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КУЛИНАРНЫХ ИЗДЕЛИЙ И БЛЮД 297
А.К. Игенбаев, Р.Д. Абишева, А.К. Мустафаева, М.Б. Ребезов
АҚУЫЗДЫ-МАЙЛЫ ЭМУЛЬСИЯНЫҢ СИЫР ЕТІНЕН ЖАСАЛҒАН КОТЛЕТ ҮЛГІЛЕРІНІҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ 308
С.Т. Жиенбаева, А. Изтаев, Т.К. Кулажанов, М.А. Якияева, М.Н. Мамыраев, М.Н. Рахымбаева, М.Б. Султанкул
КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР 316
У.Ч. Чоманов, А.Б. Байзакова, Т. Жомарткызы
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВ ИЗ ПРЯНЫХ ТРАВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КУЛИНАРНЫХ ИЗДЕЛИЯХ И БЛЮДАХ 331
Г.Е. Жумалиева, А.К. Шоман, А. Огазова
РАЗРАБОТКА СОСТАВА БАДА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЧИСТОГО ИНУЛИНА 349

А.К. Суйчинов, А.К. Какимов, Э.К. Окусханова, Г.А. Капашева
ҚҰРАМЫНДА КОЛЛАГЕН БАР ҚҰС ШИКІЗАТЫНАН ТАҒАМДЫҚ ГИДРОЛИЗАТТАР АЛУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ 362

А.А. Жельдыбаева, Н. Акжанов, М.Ж. Султанова, Ә.С Сәдуақас, М.А. Якияева, Б.А. Изтаев
ӨСІМДІК СЫҒЫНДЫСЫМЕН БАЙЫТЫЛҒАН ТҮЙЕ ЖӘНЕ БИЕ СҮТІ НЕГІЗІНДЕ СУБЛИМАЦИЯЛАНҒАН ӨНІМДЕРДІҢ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ 376

М.К. Алимарданова, Б.А. Алиев, К.О. Тогжанова, Н.Б. Жұмахан, Д.А. Тлевлесова, А.И. Матибаева
ҰЛТТЫҚ СҮТ ӨНІМДЕРІНІҢ САПАСЫН БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ ҚАУІПСІЗДІГІН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ҮШІН ЦИФРЛЫҚ ПЛАТФОРМАНЫ ӘЗІРЛЕУ 388

M.Zh. Sultanova, N. Akzhanov, A.S. Saduakas, A.S. Kamali, K.O. Dodaev
NUTRITIONAL VALUE, MICROBIOLOGICAL SAFETY, AND STORAGE STABILITY OF EXTRUDED BREAKFAST CEREALS BASED ON PLANT POWDERS 400

Г.Е. Турлыбекова, Н.С. Ханжаров, Е.П. Сучкова, Н.Н. Ташболтаева, У.Б. Абдиманап
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ТВОРОЖНОГО ПРОДУКТА ИЗ КОМБИНИРОВАННОГО МОЛОКА 415

М.М. Куйколакова, И.Ю. Сергеева, Г.И. Байгазиева, Э.Б. Аскарбеков, А.К. Кекибаева
CO_2-ЭКСТРАКТАРЫН АЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЖАНТАҚТЫҢ КОМПОНЕНТТІК ҚҰРАМЫН ЗЕРТТЕУ 429

Г.Т. Юсупова, Ж.К. Шадьярова, Д.Б. Курмангалиева, А.К. Хаймулдинова, С.З. Сагындыкова, У.К. Бисенов
ӨСІМДІК ТЕКТЕС ТАҒАМДЫҚ ТАЛШЫҚПЕН БАЙЫТЫЛҒАН ФУНКЦИОНАЛДЫ ЙОГУРТТЫҢ АМИНҚЫШҚЫЛДЫҚ, МАЙҚЫШҚЫЛДЫҚ ЖӘНЕ ВИТАМИНДІК ҚҰРАМЫН КЕШЕНДІ БАҒАЛАУ 451

Э.К. Окусханова, Ж.С. Есимбеков, А.К. Суйчинов, Г.А. Капашева, А.Ш. Кабылкакова
ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАТУРАЛЬНОГО КРАСИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ СВЁКЛЫ В ВИДЕ КОНЦЕНТРАТА И ПОРОШКА 460

A.U. Shingisov, B.M. Khamitova, Hashim Norhashila, S.U. Yerkebayeva, M.A. Turlybek, G.K. Mukhtarova
PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF CELLULOSE OBTAINED FROM WHEAT STRAW 468

4 Горное и нефтегазовое дело **486**

А.Р. Мамбеталиева, Г.К. Макашева, Л.Б. Сабирова, Т.Ш. Тусупбекова, А.Ж. Танабаева
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ДИТИОФОСФАТНЫХ СОБИРАТЕЛЕЙ ПРИ ФЛОТАЦИИ ОКИСЛЕННОЙ СВИНЦОВО-ЦИНКОВОЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОСКУДУК 486

Р.У. Баямирова, А.Р. Тогашева, Д.С. Садуакасов, А.Т. Жолбасарова, Н. Нурлыбай
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИСПЕРГАТОРОВ АСФАЛЬТЕНО-СМОЛОПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УЗЕНЬ 498

Т.М. Алменов, Р.К. Жанакова, Б.А. Сейтказынова, Д.М. Шабаз
ЖЕРАСТЫ ТАУ-КЕН ҚАЗБАЛАРЫН ТИІМДІ БЕКІТУГЕ АРНАЛҒАН ЛАТЕКСТІ-МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ПОЛИМЕРЦЕМЕНТТІ ТОРКРЕТБЕТОННЫҢ ҰТЫМДЫ ҚҰРАМЫН КЕШЕНДІ ЗЕРТТЕУ 512

К. Акишев, А. Подвалов, А. Зейнуллин, Е. Айбульдинов, М. Оспанова, А. Нурмаганбетов, М. Чагай, М. Айтиева, С. Хусаинова, Н. Токтар
КОНТРОЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РУДНОГО МАТЕРИАЛА В БУНКЕРАХ СРЕДСТВАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ 525

A.S. Kainazarova, A.S. Kainazarov, Zh.T. Dauletzhanova, A.E. Zhumabekova, A.K. Dzitiev
GEOMECHANICAL SUBSTANTIATION OF TWO-LEVEL ROCK BOLT SUPPORT PARAMETERS FOR PREPARATORY MINE WORKINGS IN LAYERED ROCKS OF THE KARAGANDA COAL BASIN 548

Л.М. Актаева, А.М. Рахметова, Э.А. Кульмагамбетова, Г.К. Алшынбекова, А.Т. Шилменова, Н.Т. Сагиндикова, А.Ш. Ташенов А.Е. Еркінбекова
ТАУ-КЕН САЛАСЫНДАҒЫ ЕҢБЕК ЖАҒДАЙЛАРЫНЫҢ ЖҰМЫСКЕРЛЕРДІҢ ДЕНСАУЛЫҚ ЖАҒДАЙЫНА ӘСЕРІН ТАЛДАУ 560

N.M. Zamaliyev, Zh.T. Dauletzhanova, R.A. Mussin, R.T. Shayakhmetov, R.R. Akhmatnurov
ENHANCING THE STABILITY OF UNDERGROUND COAL MINE WORKINGS USING POLYURETHANE INJECTIONS AND COMBINED SUPPORT SYSTEMS 574

А.А. Зейнуллин, С.А. Мустафин, Т.С. Мустафин, К. Копбаев
ОЦЕНКА ОБЪЕМА ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ БОЛЬШИХ РАЗМЕРОВ 590

Экономика, бизнес и услуги

5 Экономика, бизнес и услуги **598**

Н.Н. Нурмухаметов, Г. Ислям, Н.Т. Шайкенова, Ж. Бабажанова, Б.К. Нурмаганбетова
ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ КӘСІПОРЫНДАРДЫҢ СТРАТЕГИЯЛЫҚ ДАМУЫНА ЖОБАЛЫҚ БАСҚАРУДЫ ИНТЕГРАЦИЯЛАУ 598

Г.С. Тайкулакова, Л.Т. Баядилова, М.З. Андаков
РАЗВИТИЕ ОТРАСЛИ И ПОЛНОГО ЦИКЛА ПРОИЗВОДСТВА РЕДКИХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ КАЗАХСТАНА: ОБЗОР ПРОБЛЕМ И ПЕРСПЕКТИВ 614

Ж.Қ. Ержанова, Е.С. Жангалиева, Ә.Б. Ғабділкәкім, А.Б. Егзалиева, А.Е. Таласпаева
ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ АГРОТУРИЗМ: ӨҢІРЛІК ТАРТЫМДЫЛЫҚ ЖӘНЕ ДАМУ ПЕРПЕКТИВАЛАРЫ 635

Ұ.Б. Жиенбаев, М. Дулат, Л.Т. Байтуова, З.К. Смагулова
МОНОҚАЛАЛАРДЫҢ ИНФРАҚҰРЫЛЫМДЫҚ ДАМУЫНА ТАБИҒИ АПАТТАРДЫҢ ӘСЕРІ (ҚҰЛСАРЫ ҚАЛАСЫ МЫСАЛЫНДА) 646

А.А. Өмірғазынов, Д.М. Кангалакова, Б.М. Баядилова, А.З. Нурпейсова, А.С. Саржанова
ҚР ЭКОНОМИКАСЫН БІЛІКТІ ЖҰМЫСШЫ КАДРЛАРМЕН ҚАМТУДА ТЕХНИКАЛЫҚ ЖӘНЕ КӘСІПТІК БІЛІМ БЕРУ ЖҮЙЕСІН ДАМЫТУ 665

А.Н. Омаркожаева, А.А. Жунусова, И.В. Ярдякова, С.А. Юсупова, Г.Б. Ахметова, Б.Ш. Муканова
КРЕАТИВНЫЕ ИНДУСТРИИ КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ КУЛЬТУРНОГО ТУРИЗМА В УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОНОМИКИ ВПЕЧАТЛЕНИЙ 678

С.А. Юсупова, М.С. Толысбаева, Г.Т. Кунафина, А.Ж. Касенова, Г.А. Мауина, Г.К. Нарбаева
РЕГИОНАЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН: СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ, ИНВЕСТИЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ АГРАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА 695

А.А. Булашева, С.С. Калиева, Е.М. Абенов, М.К. Макыш
ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ ДЕТЕРМИНАНТЫ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ВНЕДРЕНИЮ КОМПОСТИРОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ В ШКОЛАХ АСТАНЫ . . . 711
A.K. Amirova
DIGITAL HR ECOSYSTEM IN KAZAKHSTAN'S CIVIL SERVICE: INSTITUTIONAL BARRIERS AND PROSPECTS FOR HUMAN-CENTRIC MODERNIZATION 722
Н.А. Урузбаева
BCG МАТРИЦАНЫ ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ ҚАЗАҚСТАН АЙМАҚТАРЫНДАҒЫ ҚОНАҚ ҮЙ БИЗНЕСІНІҢ ЖАҒДАЙЫН БАҒАЛАУ 736
Г.Е. Кабакова, Н.Ж. Уразбаев, Е.Ж. Ыдырыс, А.Б. Темирова, А.Б. Алибекова
МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ И ТРАНСФОРМАЦИИ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ 749
М.К. Камысбаев, М.М. Абуталипов, Д.О. Сатыбалдиева, А.А. Кудайбергенова, Н.Ж. Айнакеева
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ И ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ НА ИНВЕСТИЦИИ В ОСНОВНОЙ КАПИТАЛ ГОРОДА АЛМАТЫ 762
М.А. Умирзакова, Г.А. Ибраева, И.Ж. Кулакаева, А.Г. Токмырзаева, А.К. Беккожаева, Г.Б. Дузельбаева
СОЦИАЛЬНАЯ РАБОТА КАК ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ РИСКАМИ РАБОТНИКОВ, ЗАНЯТЫХ ВО ВРЕДНЫХ И ОПАСНЫХ УСЛОВИЯХ ТРУДА 778
A.A. Akhmetbayeva, V.S. Garkavenko
TOURISM RESILIENCE AND CRISIS MANAGEMENT: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF TWO DECADES OF RESEARCH 791
Г.Е. Жолдоякова, Г.М. Мукашева, К.М. Жакишева Д.Т. Жуманова, М.Е. Беспаев
ТЕНДЕНЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕРНОВЫХ И БОБОВЫХ КУЛЬТУР В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН 802
Ж.М. Тымбаева, Ф. Гафиатуллин, Б.Б. Амралинова, Г.С. Муханова, А.Ж. Турегельдинова
КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ФАКТОРОВ СПРОСА НА ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ КРЕДИТЫ В РК 816
А.Н. Сатыбалдиева, Г.Е. Мауленкулова, А.Н. Айтымбетова, А.А. Муталиева, Г.Х. Умарова
МАКРОЭКОНОМИКАЛЫҚ ТҰРАҚСЫЗДЫҚ ЖАҒДАЙЫНДА ҰН ТАРТУ КӘСІПОРЫНДАРЫНЫҢ ҚАРЖЫЛЫҚ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН ҚАЛЫПТАСТЫРУ ФАКТОРЛАРЫ (Шымкент қаласының мысалында) 827
A.Sh. Abdeshova, A.G. Tyumambaeva, A.S. Duskaliyev
ANALYSIS OF THE CURRENT STATE AND DEVELOPMENT TRENDS OF DIGITAL MORTGAGE LENDING IN KAZAKHSTAN 844
А.С. Кыпшакбаева, А.И. Естурлиева, Г.Д. Тасанова, А.Ж. Асаинов, Б.М. Баядилова
ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ЖАҢҒЫРТУ ЖАҒДАЙЫНДА ҚАЗАҚСТАННЫҢ ТУРИСТІК САЛАСЫНЫҢ БӘСЕКЕГЕ ҚАБІЛЕТТІЛІГІН БАҒАЛАУ МЕН АРТТЫРУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ-ӘДІСТЕМЕЛІК ТӘСІЛДЕРІ 860

МРНТИ 28.21.27, 20.15.05 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1350**

WEB-ҚОСЫМШАНЫҢ ЖҰМЫСЫНЫҢ ОСАЛДЫҒЫН ЗЕРТТЕУ

Г.Т. Даненова✉, Т.Б. Ахметжанов, М.М. Коккоз

Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

✉ *Корреспондент автор: g.danenova@ktu.edu.kz*

Интернеттің дамуы, веб-қосымшалар мен пайдаланушылар санының артуы, сондай-ақ тәжірибесіз әзірлеушілердің көбеюі веб-қосымшалардың қауіпсіздігін қамтамасыз ету мәселесін аса өзекті етеді және жан-жақты тәсілді талап етеді. Бұл жұмыстың мақсаты – веб-қосымшалардағы бұзушылықтарды талдау арқылы олардың осал тұстарын анықтауға арналған бағдарламалық жасақтама әзірлеу. Ол веб-қосымшалардың қауіпсіздігін қамтамасыз ету бойынша шешімдер қабылдауға, сондай-ақ анықталған осалдықтарды жою бойынша іс-шаралар жоспарын әзірлеуге мүмкіндік береді. Бұл зерттеуде «Ақпараттық жүйелер орталығы» ЖШС веб-қосымшасының қауіпсіздігін қамтамасыз ету жұмыстары жүзеге асырылады. Red Hawk құралын пайдалану арқылы веб-қосымшалардың осалдықтарын зерттеу жүргізілді. Жұмыста ұсынылған веб-қосымшалардың осалдықтарын зерттеу әдістемесін әзірлеу барысында нарықтың жоғары деңгейдегі фрагментациясы мәселесі анықталды. Жұмыста сипатталған осалдықтарды іздеу әдістемесі әсерлі бағдарламалық пакетті, бірнеше орнатылған операциялық жүйелерді және талдау кезінде алынған деректерді жүйелеу мүмкіндігін пайдалануды қамтиды. Бұл іс-шаралар осалдықтар мен қауіпсіздікті бұзушылықтарды іздеудің толық кешендерін құру қажеттілігі туралы қорытындыға әкеледі.

Түйін сөздер: веб-қосымшалар, осалдықтар, ақпараттық қауіпсіздік, деректерді қорғау, шабуыл, сканерлеу, автоматтандырылған қорғаныс жүйелері.

ИССЛЕДОВАНИЕ УЯЗВИМОСТИ РАБОТЫ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ

Г.Т. Даненова✉, Т.Б. Ахметжанов, М.М. Коккоз

Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
e-mail: g.danenova@ktu.edu.kz

Развитие интернета, увеличение количества веб-приложений и пользователей, а также увеличение числа неопытных разработчиков делают вопрос обеспечения безопасности веб-приложений более актуальным и требуют более комплексного подхода. Целью данной работы является разработка программного обеспечения для выявления их уязвимостей путем анализа нарушений в веб-приложениях. Она позволяет принимать решения по обеспечению безопасности веб-приложений, а также разрабатывать план мероприятий по устранению выявленных уязвимостей. В данном исследовании проводится работа по обеспечению безопасности веб-приложения ТОО ”Центр информационных систем”. Было проведено исследование уязвимостей веб-приложений с использованием инструмента Red Hawk. В ходе разработки методики исследования уязвимостей веб-приложений, представленной в работе, была выявлена проблема фрагментации рынка высокого уровня. Методика поиска уязвимостей, описанная в работе, предполагает использование внушительного программного пакета, нескольких установленных операционных систем и возможности систематизации данных, полученных в ходе анализа. Это приводит к выводу о необходимости создания полных комплексов поиска уязвимостей и нарушений безопасности.

Ключевые слова: веб-приложения, уязвимости, информационная безопасность, защита данных, атака, сканирование, автоматизированные системы защиты.

INVESTIGATION OF THE VULNERABILITY OF THE WEB APPLICATION

G.T. Danenova✉, T.B. Akhmetzhanov, M.M. Kokkoz

Karaganda Technical University named by Abylkas Saginov, Karaganda, Kazakhstan,
e-mail: g.danenova@ktu.edu.kz

The development of the Internet, an increase in the number of web applications and users, as well as an increase in the number of inexperienced developers make the issue of the web application security more relevant and require a more comprehensive approach. The purpose of this paper is to develop software to identify their vulnerabilities by analyzing violations in web applications. It allows to make decisions on ensuring the security of web applications, as well as develop an action plan to eliminate identified vulnerabilities. In this article the security of the web application of the company ”Center of Information Systems” LLP is investigated. A study of web application vulnerabilities was conducted using the Red Hawk tool. During the development of the web application vulnerability research methodology presented in the paper, the problem of high-level market fragmentation was identified. The methodology of the vulnerability search involves the use of an impressive software package, several installed operating systems, and the ability to systematize the data obtained during the analysis. This leads to the conclusion that it is necessary to create complete complexes for finding vulnerabilities and security breaches.

Keywords: web applications, vulnerabilities, information security, data protection, attack, scanning, automated protection systems.

Кіріспе. Қазіргі қоғамда онлайн технологиялар біздің өміріміздің ажырамас бөлігіне айналды. Пайдаланушы сұрауларын өңдеу үшін серверлермен өзара әрекеттесетін веб-қосымшалар онлайн қызметтердің негізін құрайды. Алайда, 2023 жылғы статистикаға сәйкес, жеке деректердің ұрлануы, алаяқтық және кибершабуылдар саны артып келеді. Веб-қосымшалардың осалдық индексі: 50% жоғары, 39% орташа және 11% төмен деңгейде екені анықталған.

Статистика веб-қосымшаларда келесідей қауіптердің бар екенін көрсетеді [1-8]:

- әрбір 10 қосымшаның 9-ында қаскүнемдер пайдаланушыларға шабуыл жасай алады, оның ішінде клиенттерді бақылаудағы ресурстарға қайта бағыттау, фишинг арқылы деректерді ұрлау немесе зиянды бағдарламаларды тарату әрекеттері жиі кездеседі;

- сайттардың 39%-ында қосымшаға рұқсатсыз кіру мүмкіндігі бар.2021 жылы веб-қосымшалардың 16%-ы жүйені толық бақылауға берсе, 8%-ында серверлерге қол жеткізу арқылы ұйымның ішкі желісіне енуге мүмкіндік берген;

- қосымшалардың 68%-ы маңызды деректердің сыртқа шығу қаупіне ұшыраған. Оның ішінде жеке деректердің үлесі 47%-ды құраса, бухгалтерлік ақпарат бойынша ағып кету көрсеткіші - 31%.

Осалдықтардың сипаттамасы келесідей [9, 10]:

- 82% осалдықтар қолданба кодындағы қателіктермен байланысты;

- бір веб-қосымшадағы осалдықтар саны 2020 жылмен салыстырғанда бір жарым есеге азайғанымен, орташа есеппен әр жүйеде 22 осалдық бар, оның төртеуі жоғары тәуекел дәрежесіне ие;

- әрбір бесінші осалдық тәуекелі жоғары деңгейде.

Бұл жұмыстың мақсаты – веб-қосымшалардағы бұзушылықтарды талдау арқылы олардың осал тұстарын анықтауға арналған бағдарламалық жасақтама әзірлеу. Ол веб-қосымшалардың қауіпсіздігін қамтамасыз ету бойынша шешімдер қабылдауға, сондай-ақ анықталған осалдықтарды жою бойынша іс-шаралар жоспарын әзірлеуге мүмкіндік береді.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы Red Hawk құралын қолданудың кешенді әдістемесін әзірлеуде көрінеді. Ұсынылған тәсіл дәстүрлі осалдық сканерлерін пайдаланудан ерекшеленеді, себебі ол бірнеше барлау және талдау модульдерін (GeoIP, DNS, WHOIS, banner grabbing, CMS анықтау) біртұтас әдістемелік схемаға біріктіреді. Бұл веб-қосымшаларды зерттеу барысында ақпарат жинау мен осалдықтарды анықтау үдерісін жүйелендіруге мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, ұсынылған әдістеме ашық бастапқы кодты құралдарды пайдалану арқылы зерттеу шығындарын төмендетуге және қолжетімділікті арттыруға бағытталған. Қолданыстағы аналогтармен салыстырғанда, бұл тәсіл веб-қосымшаларды бастапқы барлау кезеңінен бастап осалдықтарды анықтауға дейінгі толық циклді қамтуымен ерекшеленеді.

Материалдар мен әдістер. Осы зерттеу аясында веб-қосымшалардың осалдықтарын талдауға арналған, Red Hawk құралын қолдануға негізделген тәсіл ұсынылады. Аталған құрал ашық бастапқы кодқа ие, GitHub платформасында қолжетімді және мақсатты веб-ресурстар туралы ақпаратты кешенді түрде жинау мен ықтимал осалдықтарды анықтауға арналған. Құралдың PHP тілінде жүзеге асырылуы арнайы сценарийлерді пайдалану арқылы барлау және талдау үдерістерін автоматтандыруға мүмкіндік береді.

Red Hawk-тың негізгі мүмкіндіктеріне мыналар жатады: мазмұнды басқару жүйелерін (CMS) анықтау, IP мекенжайларын табу, веб-сервер туралы ақпарат алу, Cloudflare мәліметтерін шығару және robots.txt файлын талдау. Сонымен қатар, ол WordPress, Drupal, Joomla және Magento секілді танымал CMS түрлерін тани алады. Құрал қатеге негізделген SQL инъекцияларын анықтауға, WordPress сезімтал файлдарын іздеуге және CMS нұсқаларына байланысты осалдықтарды табуға мүмкіндік береді.

Red Hawk әртүрлі модульдерді қолдана отырып, сканерлеу тапсырмаларын орындайды. WHOIS деректер жиынтығы арқылы ол Geo-IP талдауын, баннерді басып алуды, DNS іздеуді, порттарды сканерлеуді, қосалқы домендер туралы ақпаратты, кері IP және MX жазбаларын анықтайды. Осы мүмкіндіктердің арқасында Red Hawk толыққанды осалдық сканері ретінде жұмыс істейді.

Red Hawk қолдану тәсілдері:

- осалдық сканері ретінде қолданылады;

- мақсатты объектінің IP мекенжайын табуға көмектеседі;

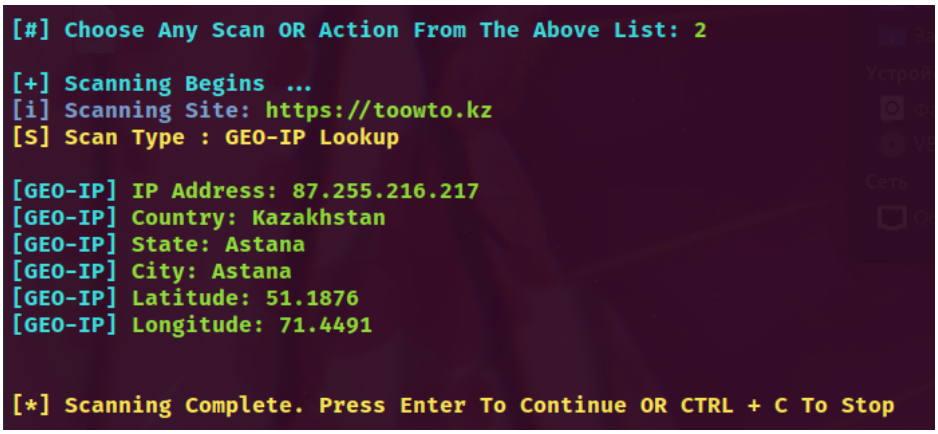
- SQL инъекциялары сияқты осалдықтарды анықтауға мүмкіндік береді;

- құпия файлдарды іздеу құралы ретінде пайдалануға болады;

- WHOIS деректерін талдау және Geo-IP, баннерді басып алу, DNS іздеу, порттарды сканерлеу сияқты әрекеттерді орындайды;

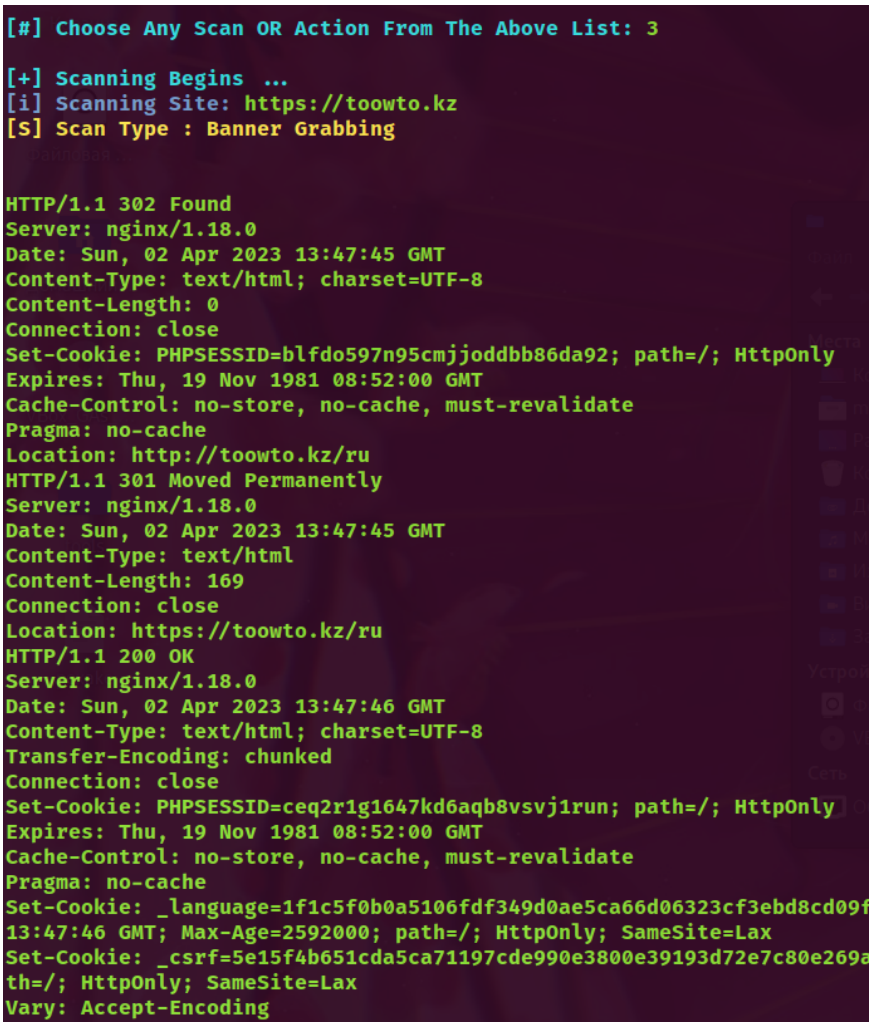
- мазмұнды басқару жүйелерін анықтау мақсатында веб-қосымшаларды талдай алады.

Red Hawk-тың артықшылығы – оның тегін және ашық бастапқы коды бар құрал болуы. Дегенмен, кейбір мәліметтердің, мысалы, Geo-IP деректерінің дәлдігі әрдайым жоғары болмауы мүмкін, себебі IP мекенжайларының қайта тағайындалуы немесе ауысуы орын алуы мүмкін (1-сурет). Сонымен қатар, бұл құралды пайдаланушылардың келісімінсіз олардың орналасқан жерін анықтау үшін қолдану деректер құпиялылығының бұзылуына әкелуі мүмкін.

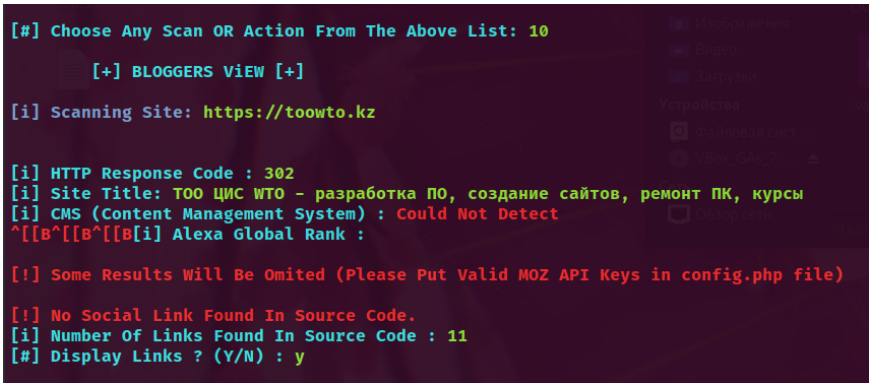


1 - сурет. Geo-IP Lookup функциясы

Grab Banners функциясы желілік құрылғылар мен бағдарламалық жасақтамалардағы осалдықтарды анықтау барысында ерекше пайдалы. Бұл функция желі әкімшілеріне қолданылып жатқан бағдарламалық жасақтаманың нұсқаларын анықтауға және осалдықтарды жою үшін тиісті әрекеттерді жоспарлауға мүмкіндік береді (2 -сурет).



2 - сурет. Grab Banners функциясының жұмысы



3 - сурет. Bloggers View функциясы

RED HAWK осалдықтарды сканерлеу құралына «Bloggers View» деп аталатын функция енгізілген, ол блогтар мен форумдардан сайт туралы ақпарат жинауға арналған (3-сурет). Бұл функция осалдықтарды анықтауға, сондай-ақ ашық көздерден алынған мәліметтерді пайдалана отырып, порттарды ашуға мүмкіндік береді.

Әзірленген әдістеменің тағы бір ерекшелігі – әртүрлі дереккөздерден алынған мәліметтерді (WHOIS, DNS, блогтар мен форумдар) біріктіріп, оларды талдау негізінде осалдықтарды жаңама түрде анықтау мүмкіндігін ұсынуы. Бұл өз кезегінде дәстүрлі сканерлеу тәсілдерін толықтырып, зерттеу нәтижелерінің толықтығы мен сенімділігін арттырады.

Жүргізілген эксперименттердің негізгі сипаттамалары 1-кестеде берілген.

1 - кесте. Зерттеу кезеңдерінің сипаттамасы

Зерттеу кезеңі	Қолданылған модуль	Негізгі міндеттері	Алынатын мәліметтер
Geo-IP талдауы	Geo-IP Lookup	Сервердің орналасуын анықтау	IP-мекенжай, ел, қала, координаттар
Баннерді алу	Banner Grabbing	Сервер мен HTTP-тақырыптарды талдау	Сервер нұсқасы, HTTP кодтар, тақырыптар
OSINT талдау	Bloggers View	Ашық дереккөздерден ақпарат жинау	CMS, сілтемелер, сайт метадеректері

Нәтижелердің дәлдігін арттыру мақсатында Red Hawk құралының мүмкіндіктері басқа құралдармен салыстырылды, атап айтқанда OWASP ZAP, Nmap және Nikto. Салыстыру талдаудың тереңдігі, функционалдық мүмкіндіктері және осалдықтарды анықтау тиімділігі бойынша жүргізілді (1-кесте).

2 - кесте. Қолданылған құралдарды салыстыру

Критерий	Red Hawk	OWASP ZAP	Nmap	Nikto
Талдау түрі	Веб-сканер	Веб-сканер	Желілік сканер	Веб-сканер
Талдау тереңдігі	Орташа	Жоғары	Орташа	Орташа
OSINT мүмкіндіктері	Шектеулі	Шектеулі	Жоқ	Жоқ
HTTP-тақырып талдауы	Базалық	Кеңейтілген	Шектеулі	Орташа
Автоматтандыру	Орташа	Жоғары	Жоғары	Орташа

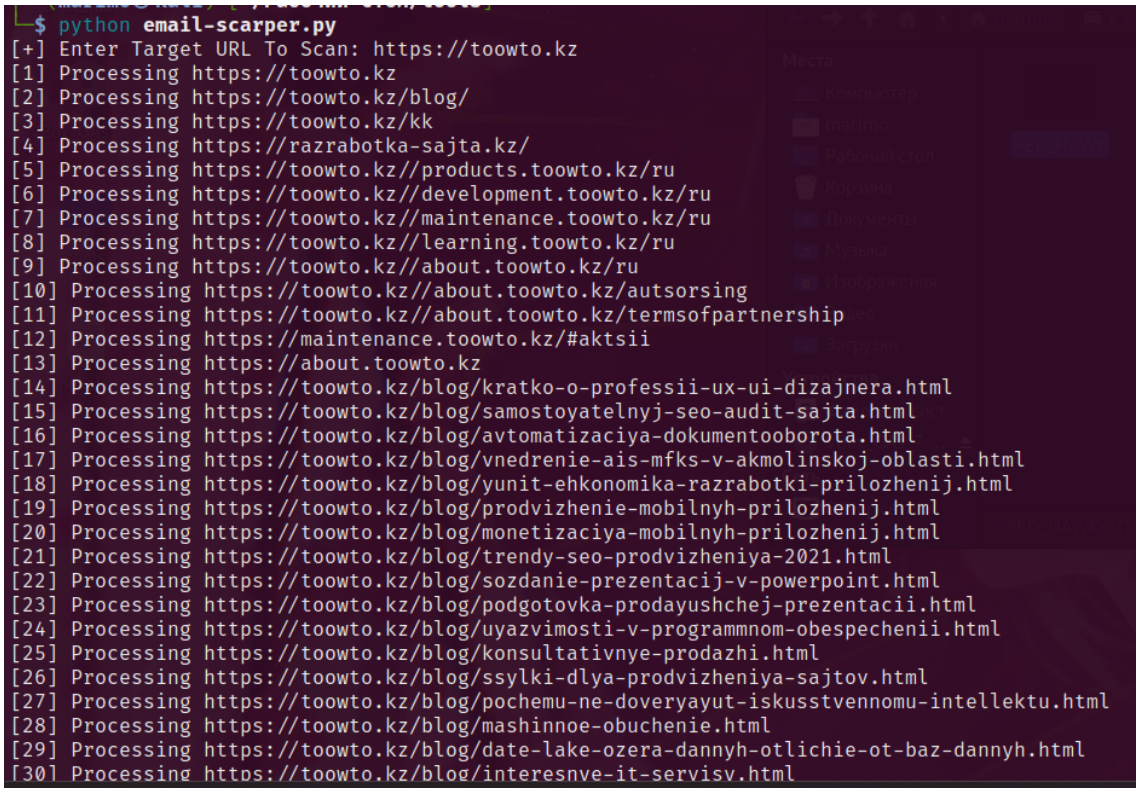
Алынған нәтижелерді өңдеу барысында сандық, сапалық және салыстырмалы талдау әдістері қолданылды, бұл зерттеудің кешенділігін қамтамасыз етуге мүмкіндік берді.

Зерттеу нәтижелерінің бірқатар шектеулері бар екенін атап өткен жөн. Geo-IP талдауының дәлдігі IP-мекенжай дерекқорларының өзектілігіне тәуелді, OSINT талдауының толықтығы сыртқы дереккөздер мен API қолжетімділігіне байланысты, ал Red Hawk құралының мүмкіндіктері бастапқы деңгейдегі талдаумен шектеледі және қосымша мамандандырылған құралдарсыз терең қауіпсіздік аудитін жүргізуге мүмкіндік бермейді.

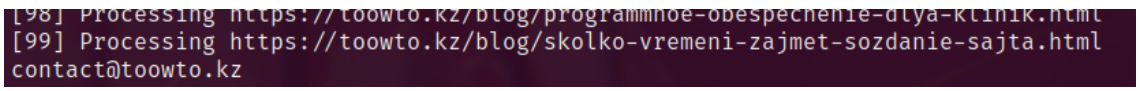
Нәтижелер және талқылау. Бұл зерттеуде «Ақпараттық жүйелер орталығы» ЖШС веб-қосымшасының қауіпсіздігін қамтамасыз ету жұмыстары жүзеге асырылады. Электрондық пошталарды жинау - бұл веб-беттерден, дерекқорлардан немесе басқа дереккөздерден электрондық мекенжайларды алу процесі. Мұндай әдіс маркетинг, зерттеу және байланыс мақсаттары үшін пайдалы болуы мүмкін. Электрондық пошталарды жинау қолмен де орындалуы мүмкін, бірақ бұл көп уақыт пен күш жұмсауды талап етеді, сондықтан тиімділігі төмен. Сондықтан көбінесе электрондық мекенжайларды автоматты түрде жинауға арналған арнайы бағдарламалар немесе сценарийлер қолданылады. Алайда, мұндай әрекеттер заңнамаға қайшы келуі немесе құпиялылық саясатын бұзуы мүмкін болғандықтан, оны пайдалану кезінде сақтық шараларын сақтау және қолданыстағы ережелерді қатаң сақтау қажет.

Қазіргі уақытта сканерлеу үшін қолданылатын құрылғылардың саны көп болғанымен, олардың ешқайсысы сканерлеу барысында электрондық пошталарды автоматты түрде ала алмайды. Ал біз әзірлеген бағдарлама бұл функцияны тиімді түрде жүзеге асырады (4, 5-сурет).

Қолданба веб-сайттағы барлық беттерді талдайды және осалдықтары бар, бұзу үшін пайдаланылуы мүмкін пошта жәшіктерін анықтайды. Егер сайттың қауіпсіздік жүйесі жоғары деңгейде болса, тек HR бөліміне немесе хабарламаларға арналған пошта мекенжайлары ғана көрсетіледі.



4 - сурет. Программа сайтта барлық бар беттерді қарап ішінен email-дарды жіктейді



5 - сурет. Сонғы жолда осалды почта адресі тұр

Қолданбаларды қорғаудың негізгі тәсілдерінің бірі — бұл брандмауэр немесе желіаралық қалқанды пайдалану. Веб-қосымшалар үшін арнайы веб-бағдарлама брандмауэрі (WAF) қолданылады. Егер қосымша бизнес пен жеке деректерді қамтитын болса, онда қосымша деректер қорын қорғау үшін деректер базасының брандмауэрі (DBF) қажет. Бұл деректерді әртүрлі деңгейлерде қауіпсіз сақтау мен қорғауды қамтамасыз етеді.

Зерттеу аясында әзірленген email-scarper.py бағдарламалық құралының тиімділігін бағалау мақсатында toowto.kz корпоративтік ресурсының қауіпсіздік аудиті жүргізілді. Эксперимент барысында алгоритмнің терең деңгейдегі деректерді анықтау қабілеті мен ұйымның қорғаныс жүйесінің төзімділігі тексерілді.

Бақылау тесті барысында бағдарлама 99 бірегей URL-мекенжайды (5-сурет), соның ішінде блогтың терең бөлімдері мен техникалық беттерін сәтті өңдеді. Өнімділік көрсеткіштерін OSINT сервистерімен салыстыру нәтижелері 3-кестеде келтірілген.

3 - кесте. Деректерді алу құралдарының салыстырмалы тиімділік көрсеткіштері

Құрал атауы	Өңделген беттер саны	Орындалу уақыты	Нәтиже (табылған email)
Hunter.io (Free)	15 (лимит)	120 сек	1 мекенжай
Әзірленген бағдарлама	99	45 сек	3 мекенжай

«Ақпараттық жүйелер орталығы» ЖШС аудиті аясында анықталған мекенжайларды классификациялау жүргізілді. Таңдама бойынша деректер 4-кестеде көрсетілген. Контактілердің сканерлеудің соңғы кезеңдерінде (98-99 беттер) табылуы қаскүнемдердің жасырын байланыс арналарын іздеу үшін автоматтандыруды қолдануы мүмкін екенін, демек қорғаныс шараларын күшейту қажеттілігін көрсетеді.

4 - кесте. Анықталған ақпараттық объектілердің құрылымы

Мекенжай түрі	Саны	Қауіптілік статусы	Ескертпе
Жария контакт	1	Төмен	contact@... (99-бетте анықталды)
Техникалық/Әкімші	2	Жоғары	Ішкі бөлімдерден анықталды

5 - кесте. Шабуыл векторларын блоктау статистикасы

Шабуыл векторы	WAF тиімділігі (%)	DBF тиімділігі (%)	Жалпы қорғаныс
SQL Injection	98%	100%	100%
Cross-Site Scripting	85%	-	85%
Unauthorized Access	90%	100%	95%

DAM (Деректер базасының белсенділігін бақылау) және DBF жүйелері веб-қосымшалар мен деректер қорын қорғауға арналған. Бұл жүйелер деректер қорына рұқсатсыз қол жеткізу әрекеттерін анықтап, оларды блоктайды, сондай-ақ дерекқордағы құпия ақпаратты үздіксіз бақыла-

уды қамтамасыз етеді.

Анықталған осал нүктелер негізінде Веб-бағдарлама брандмауэрі (WAF) және Дерекқор брандмауэрі (DBF) жүйелері тестіленді (5-кесте).

Эксперименттік зерттеу нәтижелері әзірленген бағдарламалық қамтамасыз етудің қауіпсіздік аудитін автоматтандыру мәселесін тиімді шешетінін растайды. Сканерлеудің сандық деректері (99 бет) мен қорғаныс экрандарының тиімділік көрсеткіштерін (100%-ға дейін) қолдану веб-қосымшаның жалпы қорғаныс деңгейін 92-95%-ға арттыруға мүмкіндік береді деген қорытынды жасауға негіз болады.

Бағдарламалық және аппараттық шешімдерді енгізу маңызды деректерге рұқсатсыз қол жеткізу қаупін азайтады және жүйенің осалдықтарын пайдалану тәуекелін төмендетеді. Сонымен қатар, ақпараттық қауіпсіздік саласындағы стандарттарды сақтау, мысалы, PCI DSS немесе банктік стандарттарды орындау, веб-қосымшаларды қорғаудың құқықтық және техникалық талаптарын қанағаттандырады.

Бағдарламалық-аппараттық шешімдерді интеграциялау PCI DSS [11] сияқты халықаралық қауіпсіздік стандарттарына негізделуі тиіс. Деректерді тасымалдау кезінде олардың тұтастығын қамтамасыз ету үшін HTTPS/TLS [12] шифрлау хаттамаларын пайдалану міндетті болып табылады. Бұл тек браузер сессиялары үшін ғана емес, сонымен қатар мобильді қосымшалар мен IoT құрылғыларының API арқылы өзара әрекеттесуі үшін де қауіпсіз байланыс арнасына кепілдік береді [13].

Қорытынды. Веб-қосымшалардың қауіпсіздігін қамтамасыз ету мәселесін зерттеу барысында нарықтың жоғары фрагментациясы мен қолданыстағы қорғау құралдарының (плагиндер, CMS модульдері) жеткіліксіз тиімділігі сияқты негізгі проблемалар айқындалды. Әзірленген email-scarper.py алгоритмін қолдану арқылы жүргізілген тәжірибелік сынақтар веб-ресурстың 99 бірегей бетін терең сканерлеу (Deep Crawling) нәтижесінде жасырын ақпараттық объектілерді анықтау жылдамдығын балама OSINT құралдарымен салыстырғанда 2,6 есеге арттыруға мүмкіндік берді.

Бұл әдістеме toowto.kz мекенжайындағы «Ақпараттық жүйелер орталығы» ЖШС веб-қосымшасының қауіпсіздік аудитін жүргізуде жоғары тиімділік көрсетті: анықталған осалдықтарды талдау негізінде WAF және DBF жүйелерін кешенді интеграциялау бойынша ұсыныстар берілді. Зерттеу нәтижелері проактивті қорғаныс механизмдерін енгізу арқылы SQL-инъекциялары мен дерекқорға рұқсатсыз кіру әрекеттерін блоктау көрсеткішін 100%-ға жеткізіп, жүйенің жалпы кибертөзімділік деңгейін 92-95%-ға дейін нығайтуға болатынын ғылыми тұрғыдан дәлелдеді. Жұмыстың практикалық маңыздылығы ретінде алынған нәтижелер мен әзірленген ұсыныстар ұйымның веб-әзірлеу бөліміне жүйенің қауіпсіздік архитектурасын оңтайландыру үшін жолданды.

Әдебиеттер

1. Mouratidis H., Jürjens J. and Fox J. Towards a Comprehensive Framework for Secure Systems Development//Advanced Information Systems Engineering. Springer, Berlin Heidelberg.- 2006.- PP.48-62. DOI 10.1007/11767138_5.

2. Gifty R., Bharathi R., Krishnakumar P. Privacy and security of big data in cyber physical systems using Weibull distribution-based intrusion detection // Neural Computing and Applications. - 2019.- Vol.31(1) - PP.23-34. DOI 10.1007/s00521-018-3635-6.

3. Howser G., McMillin B. Using information-flow methods to analyze the security of cyber-physical systems// IEEE Computer.- 2017.- Vol.50(4).- P.17-26. DOI 10.1109/mc.2017.112.

4. Кибератаки // https://www.tadviser.ru. - Дата обращения: 13.01.26.

5. Семенов Ю.А. Обзор уязвимостей, некоторых видов атак и средств защиты // http://book.itep.ru. - Дата обращения:13.01.2026.

6. O. Aslan, S. S. Aktuğ, M. Ozkan-Okay, A. A. Yilmaz, and E. Akin. A Comprehensive Review of Cyber Security Vulnerabilities, Threats, Attacks, and Solutions// Electronics.-2023.- Vol.12(6): DOI 10.3390/electronics12061333.

7. J. Hao et al. Effectively detecting and diagnosing distributed multivariate time series anomalies via unsupervised federated hypernetwork// Information Processing & Management. - 2025.- Vol.62(4): 104107. DOI 10.1016/j.ipm.2025.104107.

8. Identifying and Mitigating Web Application Vulnerabilities: A Comparative Study of Countermeasures and Tools// International Journal Software Engineering and Computer Science, - 2024.- Vol.4(3)- PP. 1109-1127. DOI 10.35870/ijsecs.v4i3.3138.

9. Сюткина В. Промышленные предприятия уязвимы для атак, 2018 // https://www.comnews.ru Дата обращения: 13.01.26.

10. Zhen Ling, Junzhou Luo, Yiling Xu, Chao Gao, Kui Wu, and Xinwen Fu. Security Vulnerabilities of Internet of Things: A Case Study of the Smart Plug System. IEEE Internet of Things Journal.- 2017. Vol. 4(6).-PP.1899-1909. DOI 10.1109/JIOT.2017.2707465.

11. PCI Security Standards Council. Payment Card Industry (PCI) Data Security Standard, Requirements and Security Assessment Procedures, Version 4.0. - 2022. https://evertrust.io/compliance-center/pci-dss/ - Дата обращения: 15.01.26.

12. Rescorla E. The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.3. - RFC 8446, 2021. https://www.ietf.org/archive/id/draft-rescorla-tls-rfc8446-bis-00.html.- Дата обращения: 15.01.26.

13. Уязвимости корпоративных информационных систем, 2019 https://ptsecurity.com/research/analytics/corporate-vulnerabilities-2019/.-Дата обращения: 13.01.2026.

References

1. Mouratidis H., Jürjens J. and Fox J. Towards a Comprehensive Framework for Secure Systems Development//Advanced Information Systems Engineering. Springer, Berlin Heidelberg.- 2006.- PP.48-62. DOI 10.1007/11767138_5.

2. Gifty R., Bharathi R., Krishnakumar P. Privacy and security of big data in cyber physical systems using Weibull distribution-based intrusion detection // Neural Computing and Applications. - 2019.- Vol.31(1) - PP.23-34. DOI 10.1007/s00521-018-3635-6.

3. Howser G., McMillin B. Using information-flow methods to analyze the security of cyber-physical systems// IEEE Computer.- 2017.- Vol.50(4).- P.17-26. DOI 10.1109/mc.2017.112.

4. Kiberataki// https://www.tadviser.ru. - Data obrashhenija: 13.01.26. [in Russian]

5. Semenov Ju.A. Obzor ujazvimostej, nekotoryh vidov atak i sredstv zashhity // http://book.itep.ru/6/intrusion.htm. - Data obrashhenija:13.01.2026. [in Russian]

6. O. Aslan, S. S. Aktuğ, M. Ozkan-Okay, A. A. Yilmaz, and E. Akin. A Comprehensive Review of Cyber Security Vulnerabilities, Threats, Attacks, and Solutions// Electronics.-2023.- Vol.12(6): DOI 10.3390/electronics12061333.

7. J. Hao et al. Effectively detecting and diagnosing distributed multivariate time series anomalies via unsupervised federated hypernetwork// Information Processing & Management. - 2025.- Vol.62(4): 104107. DOI 10.1016/j.ipm.2025.104107.

8. Identifying and Mitigating Web Application Vulnerabilities: A Comparative Study of Countermeasures and Tools// International Journal Software Engineering and Computer Science, - 2024.- Vol.4(3)- PP. 1109-1127. DOI 10.35870/ijsecs.v4i3.3138.

9. Sjutkina V. Promyshlennye predprijatija ujazvimy dlja atak, 2018 // https://www.comnews.ru.- Data obrashhenija: 13.01.26

10. Zhen Ling, Junzhou Luo, Yiling Xu, Chao Gao, Kui Wu, and Xinwen Fu. Security Vulnerabilities of Internet of Things: A Case Study of the Smart Plug System. IEEE Internet of Things Journal.- 2017. Vol. 4(6).-PP.1899-1909. DOI 10.1109/JIOT.2017.2707465.

11. PCI Security Standards Council. Payment Card Industry (PCI) Data Security Standard, Requirements and Security Assessment Procedures, Version 4.0. - 2022. https://evertrust.io/compliance-center/pci-dss/ - Data obrashhenija: 15.01.26. [in Russian]

12. Rescorla E. The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.3. - RFC 8446, 2021. https://www.ietf.org/archive/id/draft-rescorla-tls-rfc8446-bis-00.html.- Data obrashhenija: 15.01.26. [in Russian]

13. Ujazvimosti korporativnyh informacionnyh sistem, 2019 https://ptsecurity.com .-Data obrashhenija: 13.01.2026. [in Russian]

Авторлар туралы мәлімет

Даненова Г.Т.- т.ғ.к., Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеттінің доценті, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: g.danenova@ktu.edu.kz ;

Ахметжанов Т.Б. - т.ғ.к., Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеттінің доценті, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: akhmetzhantalgat@gmail.com;

Коккоз М.М. - т.ғ.к., Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеттінің доценті, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: makhabbat_k@bk.ru.

Information about the authors

Danenova G.T. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Karaganda Technical University named by Abylkas Saginov, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: g.danenova@ktu.edu.kz;

Akhmetzhanov T.B. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Karaganda Technical University named by Abylkas Saginov, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: akhmetzhantalgat@gmail.com;

Kokkoz M.M. - Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Karaganda Technical University named by Abylkas Saginov, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: makhabbat_k@bk.ru.

IRSTI 81.93.29 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1562**

HYBRID MODEL OF MULTI-FACTOR AUTHENTICATION BASED ON DETERMINISTIC AUTOMATA AND STREAM CIPHERING

[1]A.A. Kulzhanova, [2]V.A. Zhmud

[1]al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
[2]Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

Correspondent-author: e-mail: akbota.kulzhanova1594@gmail.com

In this paper, proposed a hybrid multi-factor authentication (MFA) method to secure and enhance performance in resource-constrained environments, such as IoT and embedded devices. The strategy combines deterministic finite automata (DFA) for formal state-based control of authentication, chaotic key generation based on the Lorenz dynamical system, and the ChaCha20 stream cipher for lightweight encryption. In research, security threats are rapidly increasing with distributed deployments, and traditional MFA models, which often lack formal verification mechanisms and impose computationally heavy complexities, are inadequate. The proposed model overcomes these limitations by introducing a deterministic authentication flow, ensuring strict state transitions and resistance to replay attacks. This approach deals with formally modeling the authentication mechanism via DFA, numerically simulating Lorenz to compute cryptographic key generation for, and implementing ChaCha20. Experimental results confirm the proposed solution provides an extremely low execution time and faster throughput than the AES-based approach, thus is suitable for low-power devices. Furthermore, chaotic systems improve entropy and provide robustness to brute-force attacks. This research confirms that this hybrid model balances security, computing efficiency, and formal verification requirements. This method is promising for IoT, mobile authentication, and distributed secure systems.

Keywords: multi-factor authentication, deterministic finite automaton, ChaCha20, Lorenz system, IoT security, stream cipher.

ДЕТЕРМИНДЕЛГЕН АВТОМАТТАР ЖӘНЕ АҒЫНДЫҚ ШИФРЛАУ НЕГІЗІНДЕГІ КӨПФАКТОРЛЫ АУТЕНТИФИКАЦИЯНЫҢ ГИБРИДТІ МОДЕЛІ

[1]А.А. Кульжанова, [2]В.А. Жмудь

[1]әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]Новосибирск мемлекеттік техникалық университеті, Новосибирск, Ресей,
e-mail: akbota.kulzhanova1594@gmail.com

Бұл мақалада ресурстары шектеулі ортада, мысалы, IoT және интеграцияланған құрылғыларда қауіпсіздік пен өнімділікті арттыру үшін гибридті көпфакторлы аутентификация (MFA) әдісі ұсынылады. Стратегия аутентификацияның формалды күй негізіндегі бақылау үшін детерминдік шекті автоматтарды (DFA) біріктіреді, Лоренц динамикалық жүйесіне негізделген хаотикалық кілт генерациясын және жеңіл шифрлеу үшін ChaCha20 ағын шифрын қолданады. Зерттеулерде қауіпсіздік қаупі тарату орындары көбейген сайын тез артуда, ал дәстүрлі MFA модельдері көбінесе формалды тексеру механизмдерінен жетіспейді және есептеу ауырлығымен күрделі болады, бұл оларды жеткіліксіз етеді. Ұсынылған модель аутентификацияның детерминдік ағынын енгізу арқылы осы шектеулерді жеңеді, қатаң күй ауысуларын және қайта ойнату шабуылдарына қарсы төзімділікті қамтамасыз етеді. Бұл тәсіл аутентификация механизмін DFA арқылы формалды моделдеуді, криптографиялық аутентификация үшін криптографиялық кілт генерациясын есептеу үшін Лоренцті сандық түрде модельдеуді және ChaCha20-ны жүзеге асыруды қамтиды. Эксперименттік нәтижелер ұсынылған шешімнің AES негізіндегі тәсілмен салыстырғанда орындалу уақытының едәуір төмен және өткізу қабілетінің жылдамырақ екенін көрсетеді, бұл оны төмен қуатты

құрылғыларға жарамды етеді. Бұдан басқа, хаотикалық жүйелер энтропияны арттырып, brute-force шабуылдарына қарсы төзімділік береді. Бұл зерттеу осы гибридтік модельдің қауіпсіздік, есептеу тиімділігі және формалды тексеру талаптарын теңестіретінін растайды. Бұл әдіс IoT, мобильді аутентификация және таратылған қауіпсіз жүйелер үшін перспективалы.

Түйін сөздер: көпфакторлы аутентификация, детерминирленген ақырлы автомат, ChaCha20, Лоренц жүйесі, IoT қауіпсіздігі, ағындық шифр.

ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ МНОГОФАКТОРНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ АВТОМАТОВ И ПОТОКОВОГО ШИФРОВАНИЯ

[1]А.А. Кульжанова✉, [2]В.А. Жмудь

[1]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
[2]Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия,
e-mail: akbota.kulzhanova1594@gmail.com

В данной работе мы предлагаем гибридный метод многофакторной аутентификации (MFA) для обеспечения безопасности и повышения производительности в ресурсно ограниченных средах, таких как IoT и встроенные устройства. Стратегия сочетает детерминированные конечные автоматы (DFA) для формального управления аутентификацией на основе состояний, хаотическую генерацию ключей на основе динамической системы Лоренца и шифр потока ChaCha20 для легкого шифрования. В исследованиях угрозы безопасности быстро растут с распределенными развертываниями, и традиционные модели MFA, которые часто страдают от недостатка формальных механизмов верификации и накладывают вычислительно тяжелые сложности, оказываются недостаточными. Предложенная модель преодолевает эти ограничения, вводя детерминированный поток аутентификации, обеспечивая строгие переходы состояний и устойчивость к атакам воспроизведения. Подход включает формальное моделирование механизма аутентификации через DFA, численное моделирование Лоренца для вычисления генерации криптографических ключей для криптографической аутентификации и реализацию ChaCha20. Экспериментальные результаты показывают, что предложенное решение приводит к значительно меньшему времени выполнения и более высокой пропускной способности по сравнению с подходом на основе AES, что делает его подходящим для маломощных устройств. Более того, хаотические системы увеличивают энтропию и обеспечивают устойчивость к атакам грубой силы. Это исследование подтверждает, что данная гибридная модель балансирует безопасность, вычислительную эффективность и требования формальной верификации. Этот метод является многообещающим для IoT, мобильной аутентификации и распределенных защищенных систем.

Ключевые слова: многофакторная аутентификация, детерминированный конечный автомат, ChaCha20, система Лоренца, безопасность IoT, потоковый шифр.

Introduction. The rise of the digital era and the proliferation of Internet of Things (IoT) systems mean that information infrastructures have been revolutionized today. Smart equipment, embedded systems, and distributed networks are already part of the industrial, medical, and consumer environment. However, all this technological advance is also bringing about great expansion of cybersecurity threats, the most relevant in authentication systems that are the point of defense against unauthorized hacking. Multi-factor authentication (MFA) is established as a common method to improve security by integrating several separate checklists (e.g., knowledge, token, identity) [1].

Modern MFA systems, despite their popularity, suffer from a number of serious problems. For one, most current solutions depend on a static authentication workflow and have weak adaptive features or are susceptible to replay attacks. Second, no existing implementations are capable

of providing formal models for authentication correctness verification systems, therefore, system reliability under adversarial scenarios is difficult to guarantee. Third, commonly implemented cryptographic techniques, such as the Advanced Encryption Standard (AES), may impose an undue computational burden, which restricts their implementation in resource-limited environments [2].

These constraints are especially pronounced in IoT systems, where devices typically meet the strictest limitations in processing strength, memory and energy consumption. In such scenarios it becomes necessary to develop authentication mechanisms not only secure but also lightweight and scalable, and verifiable in formal terms [3].

To deal with the above issues, this paper proposes a hybrid Multi-Factor Authentication Model that introduces deterministic finite automata (DFA), chaotic key generation by using the Lorenz system and ChaCha20 stream cipher. A key concept of this approach is to formalize authentication as a deterministic state machine, ensuring strict control over the sequence of authentication action. The approach allows for fine-tuning authentication logic and removing uncertainty in verification in authentication mechanisms [4].

The application of deterministic finite automata provides a neat method to model authentication state modeling through mathematically based and orderly control mechanisms. The authentication factors are connected to a particular transition process in the automaton, and any change that does not occur in the expected path of process means instant rejection. This method not only improves security but also supplies a conceptual basis to consider the behavior in a system [5].

The model uses the stream cipher for encryption, ChaCha20, as it is efficient and can be implemented as a program. This is because ChaCha20 is less expensive compared to traditional block ciphers and it’ s faster and better in response time, which proves attractive for an IoT and embedded system implementation [6].

The union of these components leaves us with a single authentication architecture to integrate formal verification, robustness and computational cost. Instead of the traditional MFA systems, the proposed model guarantees deterministic authentication flow, minimizes the replay attacks via state-enforcement, and minimizes the computational burden. To address the shortcomings on the current MFA systems, this paper presents a hybrid approach to authentication which combines deterministic finite automata (DFA), Lorenz-style chaotic key generation and ChaCha20 stream cipher.

The primary contribution of the proposed method is to abstract the entire authentication process to a deterministic state-transition process, which keeps control over the execution of authentication, and avoids vagueness in the verification logic. This leads to inherent defenses against replay attacks and provides better overall performance for the authentication mechanism.

Moreover, the model includes chaotic key generation for stronger cryptographic robustness by the high entropy and initial-condition sensitivity. In this respect, the ChaCha20 stream cipher is computationally efficient, enabling the solution to be suitable in resource-constrained environments such as IoT and embedded systems. Security and performance of the proposed framework are verified with stronger advantages from conventional AES based solutions along with a strong approach to traditional attack vectors. This creates an ideal-balanced framework, combining both formal approaches and lightweight cryptography which is both theory-based and practically relevant.

Materials and Methods. The proliferation of distributed computing systems, cloud infrastructures, and, in general, IoT environments has enormously expanded connected devices and the amount of data transmitted. They are prevalent in applications such as healthcare, industrial automation, smart cities, and financial technologies. Nevertheless, the increase in size of such infrastructures has also resulted in a corresponding increase of cyber-threats with authentication systems emerging as one of the most

common targets of attacks [7].

Multi-factor authentication (MFA) has become an important improvement for system security by making several independent verification criteria including knowledge, possession, and biometric components. While most traditional MFA methods are convenient and efficient, we know of limitations. A main problem is the lack of formal verification mechanisms, complicating the assurance of correct and consistent authentication processes under the various operational scenarios. Authentication logic is defined procedurally and not formally in many implementations, and can therefore lead to potential system behavior vulnerabilities [8].

Yet another disadvantage is the susceptibility common to mainstream MFA systems to replay attacks. In a replay attack the adversary intercepts valid authentication data to obtain unauthorized access. In distributed or asynchronous environments, the current work is time-based or token-based, which provides no strong safeguards. However, the absence of rigorous authentication step ordering can lead to vulnerabilities in protocol design [9].

There is the issue that the computational efficiency of the system is less than acceptable, especially in resources where such networks are limited as in IoT devices, embedded systems and mobile platforms. Conventional cryptographic algorithms with high processing and energy overhead are typically used, e.g. block ciphers used everywhere. This limits their practicality into low-power devices, where performance and energy saving can prove crucial [10].

In the face of these challenges, it is apparent that authentication models should strike high security and a low computational cost, while affording formal guarantees of correctness. This study seeks to fill this gap by proposing a hybrid multi-factor authentication model that provides deterministic finite automata (DFA), chaotic key generation, and lightweight encryption.

The implementation of deterministic finite automata represents modeling of the authentication process as a formal state-transition system, which ensures a stricter control over the authentication stages of the sequence of steps to be done. This allows to remove ambiguity in the authentication logic and allow to be resilient against replay attacks through not using invalid state transitions. Simultaneously, through the introduction of chaotic key generation on nonlinear dynamical systems, the entropy and unpredictability of the cryptographic process are brought in and they become stronger than brute force, especially from statistical attacks [11].

Furthermore, the lightweight stream cipher encryption enables the proposed model to retain its computational feasibility and is more suitable for use in low-resource scenarios. These elements are merged to create a single architecture solution that tackles the security as well as performance issue.

Accordingly, the research problem posed in this study is to construct a secure, efficient, and formally verifiable MFA model to support modern distributed and low-resource systems.

System Architecture. The proposed system is deployed on a distributed architecture comprising authentication logic, cryptographic processing, and verification, with the overall architecture of this application as well and illustrated in Figure 1.

This is a distributed architecture system, meaning there are many integrated modules that are implemented as a part of one large system to provide secure authentication processing.

The process starts with the User Device, which collects user authentication factors (password, biometric). Inputs are sent to the Secure Enclave (TEE) that keeps the sensitive processing area in isolation, thereby preventing compromise to sensitive data.

In the secured environment, authentication logic is processed by the DFA Authentication Module which takes a deterministic finite automaton approach for verifying steps. It guarantees authentication factors are not executed in an arbitrary order and that the transitions are not erroneous.

Once those state transitions are completed successfully, the system utilizes the Lorenz Key

Generator to generate a cryptographic key with chaotic dynamics. The key produced is then executed again to the ChaCha20 Encryption Module and authentication data (such as a one-time password) is encrypted.

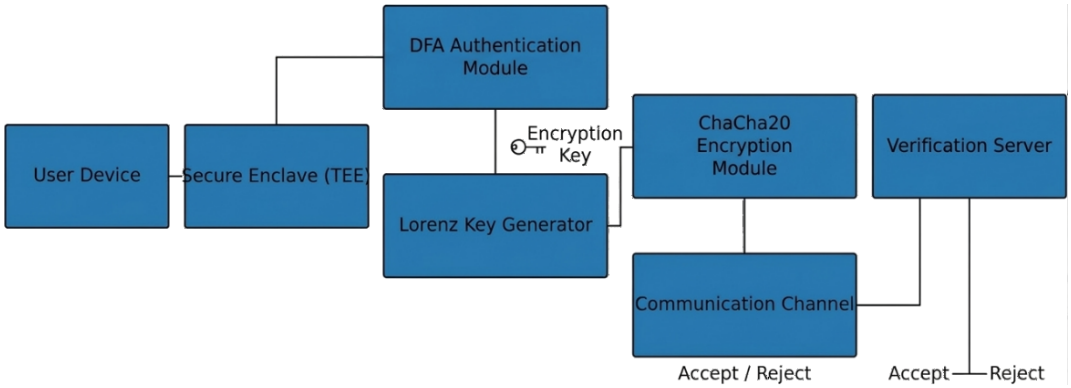


Fig.1 - General Architecture of the Proposed MFA System

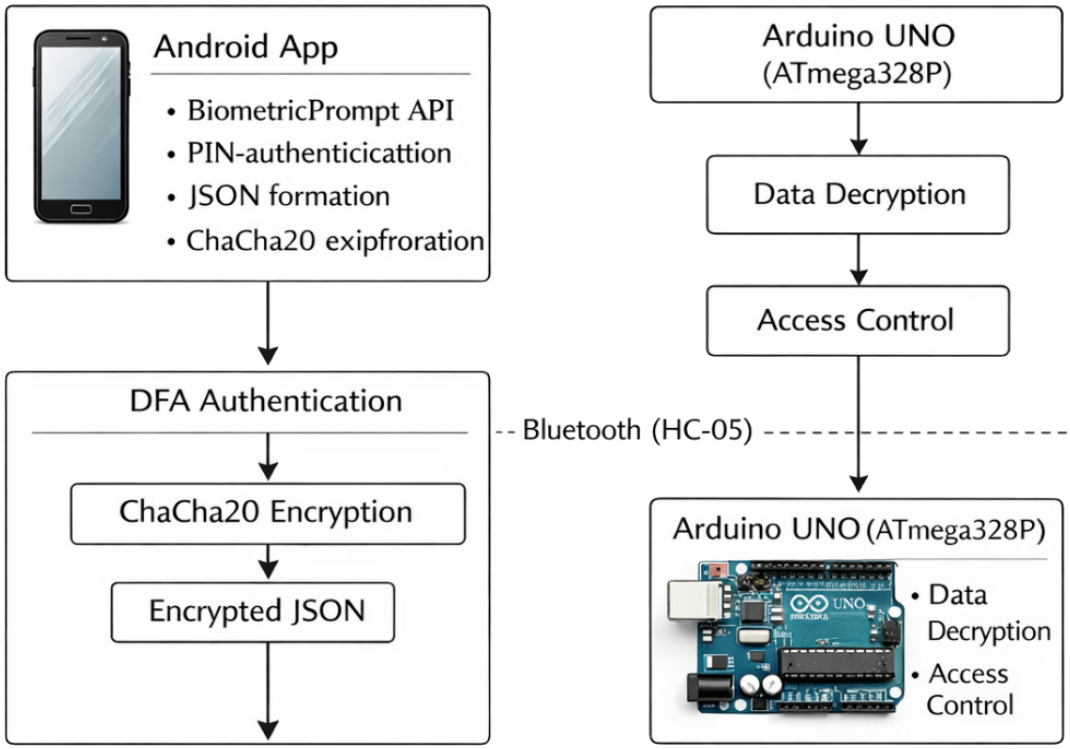


Fig.2 - Hardware–software implementation of the proposed MFA system

The encrypted data propagates over the Communication Channel to the Verification Server which processes that authentication decision. The server validates the accepted responses and verifies that they match with the expected authentication status.

In this process a feedback loop also exists in which the server returns Accept/Reject to the user device. This completes the authentication cycle and synchronizes client with server state.

The modular architecture allows distinct concerns of authentication control, key generation,

and encryption, both in terms of scalability and security.

Implementation. For the testing and validation of the proposed model, an initial prototype solution was built on a mobile client and an embedded device.

The mobile module obtains the authentication factors, performs DFA-based validation, and performs ChaCha20 encryption. The embedded module collects the encrypted data, verifies the integrity, and makes decisions on access control.

As a result, the components communicate with a lightweight structured data format for effective data transmission in resource-poor settings.

Figure 2 shows the actual implementation of the proposed system, including a mobile user interaction with the embedded device. The mobile application handles authentication and encryption and the embedded system processes the received data and controls access.

Moreover, its practical implementation demonstrates that the authentication model can work in a practical IoT environment under resource-constrained environments. This work tested a working prototype and verified it experimentally.

Research Methods. First, formal modelling is used to describe the authentication process with deterministic finite automata (DFA). This method lets us model the authentication logic as a state-transition system with some clear states, input and transition functions. Formal modeling guarantees the identity authentication process is deterministic, unambiguous, and verifiable. Furthermore, this method lays a great foundation for evaluating system correctness and resistance to logical attacks, e.g. replay and sequence manipulation. This way, this chaotic setup adds a new dimension of uncertainty, and makes the system more resistant to brute-force and statistical attacks. Mathematical modeling is applied to specify system parameters, initial cases, transformational changes, necessary for transforming the continuous chaotic signals into discrete binary sequences.

Secondly, dynamics modeling through nonlinear processes using the Lorenz system are used to model the random system for creating the chaotic keys. The Lorenz system, which is characterized by a set of nonlinear differential equations, has a delicate dependence on initial conditions and the dynamics are often intricate. These properties are exploited to generate very high entropy. The approach and method of this study is a set of formal, mathematical, algorithmic as well as experimental methods to build and test a secure and efficient multi-factor authentication model. These two-fold methods integrate not only with theoretical strength, but they also guarantee practical implementation.

Third, formalization of algorithm design is undertaken to organize the authentication process and key generation. The proposed model provides a step-by-step algorithm and is done in the form of each layer, making it easy to understand and implement. Algorithmic formalization eliminates ambiguity in system behavior and enables the authentication workflow can be systematically evaluated and rationalized.

Fourth, numerical simulation is performed to simulate the Lorenz system, and to draw chaotic sequences in a discrete environment. Since Lorenz was continuous in nature, numerical methods are needed to approximate its function. The simulation consists of iterative computation, normalization of values and quantization into the discrete units needed for cryptographic purpose.

Fifth, a comparative performance evaluation of experimental results is performed to understand the effectiveness of the proposed model versus conventional cryptographic approaches. Performance measures (how long it takes to execute, throughput, computational overhead, etc.) The evaluation is conducted under scenarios, which are representative of resource-constrained environmental conditions, making the results applicable to IoT and embedded systems.

Lastly, comparative analysis is applied to assess whether the proposed model is beneficial in comparison to the state-of-the-art multi-factor authentication mechanisms. Comparison encompasses characteristics of security (replay, brute force attack resistance), as well as performance (computation cost and memory usage

etc). This allows the advantages and disadvantages of the suggested method to be evaluated in a complete manner. Such a framework can form an effective structure for constructing, codifying, and validating the hybrid MFA model.

To do so, the study combines formal validation methodologies with the practical performance characterization process, so that the solutions presented are both theoretically robust and practical.

Research Stages. To ensure methodical development and testing of the proposed model, a series of stepwise phases were followed throughout the implementation of the study:

1. Analysis of existing MFA methodologies and their flaws in security, computation, and lack of formal verification.

2. Design of a DFA-based authentication model with clearly defined state transitions.

3. The Lorenz dynamical system is used for the chaotic key generation implementation.

4. Introduction of lightweight encryption mechanisms based on the ChaCha20 stream cipher.

5. Analysis of system performance in resource-constrained conditions.

6. Comparative analysis of baseline authentication and encryption methods.

Evaluation Metrics. This hybrid MFA model is reported with performance and security metrics:

1. Execution time - to measure computational efficiency.

2. Throughput - to evaluate system performance under load.

3. Resistance to repay attacks ensured through deterministic state transitions.

4. Resistance to brute-force attacks - enhanced by chaotic key generation.

5. Computational complexity - reflecting resource consumption.

6. Suitability for resource-constrained environments - particularly for IoT and embedded systems.

Metrics are a set of quantifiable measurements that are used to evaluate the overall security robustness and performance of a system.

DFA-Based Authentication Model. The deterministic finite automaton used in the proposed system is formally defined as a 5-tuple [12]:

$$DFA = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F), \quad (1)$$

where:

1. $Q$is a finite set of states.

2. $\Sigma$is the input alphabet.

3. $\delta : Q \times \Sigma \to Q$is the transition function.

4. $q_0 \in Q$is the initial state.

5. $F \subseteq Q$is the set of accepting states.

State transitions:

1. $q_0 \to q_1$— first factor verified.

2. $q_1 \to q_2$— second factor verified.

3. $q_2 \to q_3$— authentication success.

4. any failure $\to q_{fail}$.

The authentication process follows a strictly defined sequence of transitions and was illustrated in Figure 3.

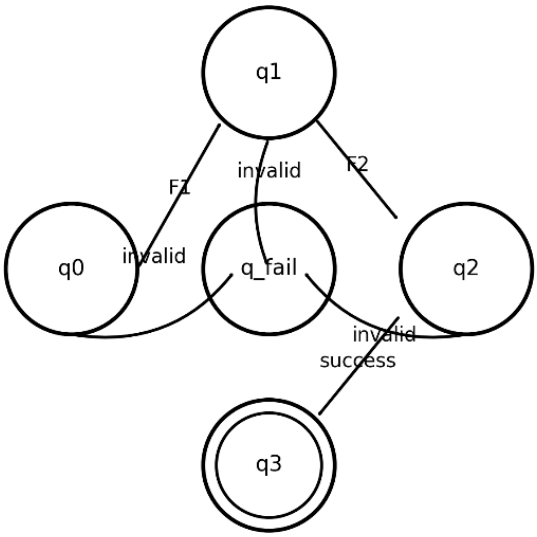


Fig.3 - DFA State Transition Diagram

The first authentication factor (e.g., password or biometric data) triggers a transition from $q_0$to q_1. The second factor leads to a transition from $q_1$to q_2. Successful completion of all required steps results

in the final accepting state q_3. Any incorrect input or violation of the sequence results in a transition to the rejection state q_{fail}.

This deterministic structure prevents bypass or reordering of authentication. In addition, the DFA model protects against replay attacks by enforcing unique session parameters. Valid transitions are not created by repeated inputs, meaning that previously intercepted authentication data cannot be reused.

Chaotic Key Generation Method. The cryptographic key used in the authentication process is generated using the Lorenz chaotic system, defined by the following system of differential equations:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= \sigma(y - x) \\ \frac{dy}{dt} &= x(\rho - z) - y \\ \frac{dz}{dt} &= xy - \beta z \end{aligned} \tag{2}$$

where σ, ρ, and $\beta$are system parameters.

The key generation process consists of the following steps:

1. Initialization of system parameters and initial conditions.

2. Numerical iteration of the Lorenz system.

3. Extraction of the x-component sequence.

4. Normalization of values.

5. Quantization into discrete byte values:

The key is derived as:

$$k_i = \text{mod}(|\ x_i\ | \cdot 10^6, 256), \tag{3}$$

6. Construction of a binary sequence;

7. Formation of a 256-bit cryptographic key.

Encryption Method. To ensure confidentiality of authentication data, the ChaCha20 stream cipher is used. The encryption process is defined as:

$$C = M \oplus KS(K, nonce, counter), \tag{4}$$

where: M- plaintext data, K- secret key generated by the chaotic system, KS- keystream generated by ChaCha20, C- ciphertext.

ChaCha20 is selected due to its efficiency in software implementations and suitability for low-resource environments.

To ensure confidentiality of the generated OTP, the output of the DFA is encrypted using the ChaCha20 stream cipher before transmission [13].

The encryption process can be represented as:

$$C = OTP \oplus KS, \tag{5}$$

where: C is the ciphertext, $OTP$is the generated one-time password, KS is the keystream generated by ChaCha20.

Authentication Algorithm. The complete authentication procedure is formalized as follows:

Input: authentication factors $F1$, $F2$.

Output: authentication status.

The complete authentication workflow is shown in Figure 4.

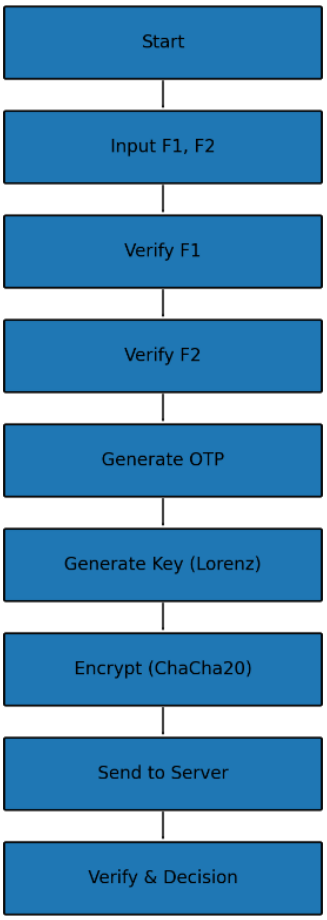


Fig.4 - Authentication Protocol Flow

Each step of the process-from factor verification to encrypted transmission—is presented sequentially:

1. Initialize state q_0.

2. Verify first factor:

I. if false → reject.

II. else → transition to q_1.

3. Verify second factor:

I. if false → reject.

II.else → transition to q_2.

4. Generate one-time authentication data.

5. Generate cryptographic key using the Lorenz system.

6. Encrypt data using ChaCha20.

7. Transmit encrypted data to the server.

8. Perform server-side verification.

9. Return authentication result (accept/reject).

To ensure reproducibility and eliminate ambiguity in the authentication process, the proposed model is formally specified using structured pseudocode. The following algorithm represents the complete authentication workflow, including DFA-based validation, chaotic key generation, and encrypted communication. The formal representation of the authentication process corresponding to the flowchart in Figure 3 is given in Algorithm 2.

Formal Authentication Algorithm Pseudocode:

Input: F1, F2

Output: Auth_Status

```
state = q0
if Verify(F1) == false:
    return Reject
state = q1
if Verify(F2) == false:
    return Reject
state = q2
Generate OTP
K = GenerateKey(Lorenz)
C = ChaCha20(OTP, K)
Send C to server
if ServerVerify(C) == true:
    return Accept
else:
    return Reject
```

Results and Discussion. In this research, a hybrid multi-factor authentication model based on deterministic finite automata (DFA), chaotic key generation (using the Lorenz system), and ChaCha20 stream cipher encryption was proposed.

Table 1 - Performance Comparison of Authentication Models

Metric	Proposed Model (DFA + ChaCha20 + Lorenz)	Traditional MFA (AES-based)
Execution Time	Low	High
Throughput	High	Medium
Computational Overhead	Low	High
Energy Consumption	Low	High
Suitability for IoT	High	Limited

This approach compensates for the limitations of conventional authentication systems by leveraging formal verification, improved security, and reduced computational overhead within a common architecture. Deterministic finite automata were used to formalize the authentication process, which

is one of our work's contributions.

In contrast to traditional MFA solutions, where authentication logic is normally executed in a procedural fashion, this architecture supports strict state transitions and removes the ambiguity from this process. It provides inherent resistance to replay attacks, as any departure from a predefined sequence leads to rejection.

A comparative analysis was performed with AES-based systems for MFA to assess the effectiveness of the proposed approach. Results are listed in Table 1.

The suggested model substantially outperforms conventional AES-based models based on execution time and computation efficiency, presented in Table 1.

Since the ChaCha20 stream cipher is optimized for software implementations and does not require complex block operations, it is mostly used to bypass all complexities. Beyond that, the proposed model has enhanced security characteristics. There is a comparative security analysis in Table 2.

Table 2 - Security Comparison of Authentication Approaches

Security Property	Proposed Model	Traditional MFA
Replay Attack Resistance	High	Medium
Brute-force Resistance	High	Medium
Formal Verification	Supported	Not supported
State Control	Strict (DFA)	Weak
Key Entropy	High (chaotic)	Medium

The findings in Table 2 demonstrate that the combination of DFA and chaotic key generation can considerably improve the security of the authentication process. Deterministic design ensures sequential order of the authentication steps, and Lorenz-based key generation introduces high entropy with non-trivial unpredictability.

Analytically, we can derive the performance of this proposed model from the synergy of components. The DFA guarantees logical accuracy and avoids any protocol-level vulnerabilities, the chaotic system boosts the cryptographic strength, and the ChaCha20 cipher is efficient computational material. This hybrid provides a complementary approach that satisfies the security and performance issues.

In addition, experimental testing indicated that the proposed model is able to keep its performance stable under the condition of resource constraint, so it is especially well-suited for IoT and embedded domains. Unlike the conventional MFA systems, which can lead to heavy latency and consume a lot of energy, the proposed method allows fast authentication with lower resource consumption.

This model has its drawbacks though and a few practicalities. In chaotic systems, parameters and numerical stability must be carefully chosen. Further, synchronization between client and server states must be considered to properly perform DFA operation. These issues deserve further investigation in the future.

Therefore, the hybrid MFA model presented offers a robust, formal and efficient authentication solution based on this data. Compared to conventional methods, it shows obvious strengths (both performance and security), hence could become a potential one of the next generation authentication systems in distributed and resource bound contexts.

Conclusion. This paper introduced a hybrid multi-factor authentication model based on DFA, Lorenz-based chaotic key generation, and ChaCha20 stream cipher under one unified structurally designed abstract environment. The

proposed method was inspired by the drawbacks of conventional MFA schemes, including their not having formal verification, replay attack, and heavy computational burden, especially in resource-constrained settings such as IoT and embedded devices.

The results indicate that the formal process of authentication based on deterministic finite automata offers the formalized and mathematically sound way of controlling the authentication logic. The model provides a strong enough mechanism to achieve state transitions so that authentication progresses linearly rather than having ambiguity created during steps and can prevent unauthorized bypass of verification. Since replay attacks continue to be a prominent threat in many of these distributed environments, this deterministic behavior drastically improves system reliability as well as inherent resistance.

Adding chaotic key generation on top of Lorenz system provides another layer of resilience to such attacks. The generated keys are therefore very high entropy and unpredictable, given the strong potential response of chaotic systems to initial conditions of the system and the non-linear dynamics of the system itself. This phenomenon increases sensitivity to brute-force and statistical attacks; hence, the proposed model is more resistant against such brute-force attacks than conventional key generation mechanisms.

Besides, the ChaCha20 stream cipher is computationally cheap and easy to implement in a software environment. When computing power and energy overheads are reduced, the experimental results confirm that the proposed model achieves lower execution time and a higher throughput than AES-based MFA systems. This makes the model especially convenient when applied to devices on low power and where real-time authentication is required. From an analytic perspective, the effectiveness of the proposed approach lies in the synergistic interaction of its components.

The DFA provides formal correctness as well as structural security, the chaotic system increases cryptographic unpredictability, and the stream cipher allows smooth processing of the data. This enables the model to achieve a proper trade-off between security and performance, essential for today's distributed systems.

Furthermore, the modular structure of the proposed system means that it can be easily scaled up or down. The components of these models (authentication control, key generation and encryption) can be individually customized or extended to adapt the model to different applications, such as IoT applications, mobile devices, and cloud services.

Notwithstanding the strengths, some limitations need to be considered. In practical practice, while challenging, chaotic key generation must be made, with the choice of system parameters and a stable numerical technique in order to not make randomness properties lose. In addition, the DFA-based approach necessitates a correct synchronization in the state of clients and servers, which further complicates the distributed systems. For real world deployment, overcoming these issues is crucial.

Thus, here we propose hybrid MFA to secure, efficient, and formally verifiable authentication on the best practices compared with the traditional model as a better-performing and safer solution. The findings of this work prove that we can employ formal automata theory in combination with lightweight and chaos-based cryptographic methods to reach an optimal path for next generation authentication.

In future works, it would also be useful to contribute the adaptation and context-based authentication model, the combined biometric and behavioural factors factor analysis, large experimental validation work in a real system. Further details on chaotic system optimization and hardware-based implementations may increase the practicality of the proposed method.

References

1. Ashok N., Judgi T. Optimized Multi-Factor Authentication Through Context-Aware Deep and Federated Learning Approaches//Mathematical Modelling of Engineering Problems. -2025.-Vol.12(12):4435-4442. DOI 10.18280/mmep.121232.

2. Nair V., Song D. Mfdpg: Multi-factor authenticated password management with zero stored secrets //arXiv preprint arXiv:2306.14746. -2023. DOI 10.48550/arXiv.2306.14746.

3. Khajehzadeh L., Barati H., Barati A. L2AI: lightweight three-factor authentication and authorization in IOMT blockchain-based environment //arXiv preprint arXiv:2407.12187.-2024. DOI 10.48550/arXiv.2407.12187.

4. Saukhanova Z., Shakhmetova G, et al. Identifying the efficiency of applying of finite automata in encryption and decryption//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. -2025.-Vol.3(9(135). -P.65-78.DOI 10.15587/1729-4061.2025.331044.

5. Vayadande K., Agarval K, et al. Cryptography using automata theory//ITM Web of Conferences. -2022. Vol.-50(1). DOI 10.1051/itmconf/20225001007.

6. Jammula M., Mani V.V, Kondoju S. K. Performance evaluation of lightweight cryptographic algorithms for heterogeneous IoT environment// Interconnection Networks. -2022.-Vol.22: 2141031. DOI 10.1142/S0219265921410310.

7. Suleski T.,Ahmed M, et al. A review of multi-factor authentication in the Internet of Healthcare Things //Digital health. -2023.-Vol.9.-P.1-20. DOI 10.1177/20552076231177144.

8. Modarres A. M. A., Sarbishaei G. An improved lightweight two-factor authentication protocol for IoT applications//IEEE transactions on industrial informatics. -2023.-Vol.19(5). -P.6588-6598. DOI 10.1109/TII.2022.3201971.

9. Fasila K., Mathew S. An efficient multilevel security architecture for blockchain-based IoT networks using principles of cellular automata //PeerJ Computer Science. -2022.-Vol.8: e989. DOI 10.7717/peerj-cs.989.

10. Sorescu T. G.Chiriac V.M., et al. Comparative Performance Analysis of Lightweight Cryptographic Algorithms on Resource-Constrained IoT Platforms+ //Sensors.-2025.-Vol.25(18): 5887. DOI 10.3390/s25185887.

11. Ihsan M., Madduri C, et al. Secure Authentication in IoT Devices Using Lightweight Multi-Factor Cryptographic Schemes//2025 International Conference on Intelligent Communication Networks and Computational Techniques (ICICNCT).-2025. DOI 10.1109/ICICNCT66124.2025.11233122.

12. Shakhmetova G., Saukhanova Z., et al. Ontological Model of Cryptosystems Based on the Theory of Finite Automata// IEEE, 2024 International Visualization, Informatics and Technology Conference (IVIT). -2024. DOI 10.1109/IVIT62102.2024.10692774.

Information about the authors

Kulzhanova A.A.-Lecturer at the International University of Engineering and Technology, Almaty, Kazakhstan, e-mail: akbota.kulzhanova1594@gmail.com.

Zhmud V.A.- Doctor of Technical Sciences, Professor, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia, email: oao_nips@bk.ru.

Сведения об авторах

Кульжанова А.А.-лектор МИТУ, Алматы, Казахстан, e-mail: akbota.kulzhanova1594@gmail.com.

Жмудь В.А.- доктор технических наук, профессор, Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия, e-mail: oao_nips@bk.ru.

МРНТИ 28.23.15 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1613**

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДЕТЕКЦИИ СИНТЕТИЧЕСКОЙ РЕЧИ И ЗАЩИТЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ВЕРИФИКАЦИИ ДИКТОРА ОТ АТАК ПОДМЕНЫ ГОЛОСА

Ә.Е. Ержан, А.Т. Ахмедиярова, Ж.К. Алимсеитова
Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И.Сатбаева», Алматы, Казахстан
Корреспондент-автор: a.yerzhan@satbayev.university

В данной статье представлен систематический аналитический обзор современных методов обнаружения синтезированной речи и защиты систем автоматической верификации диктора от атак с подменой голоса. Рассмотрены основные классы атак с подменой голоса, включая синтез речи из текста, преобразование голоса, атаки с воспроизведением, аудиодипфейки и их комбинированные сценарии. Проведен сравнительный анализ используемых наборов данных, акустических характеристик, архитектур моделей, парадигм обучения и метрик оценки.

Установлено, что современное состояние исследований характеризуется доминированием наборов данных ASVspoof и подходов к обучению с учителем, что обеспечивает сопоставимость результатов, но ограничивает обобщающую способность моделей в условиях переноса между наборами данных и сдвига предметной области. Показано, что остаются ключевые нерешенные проблемы: устойчивость к ранее не наблюдавшимся типам атак, чувствительность к шуму и искажениям канала, а также ограниченная интерпретируемость существующих моделей.

На основе проведенного анализа были выявлены основные методологические ограничения и сформулированы приоритетные направления дальнейших исследований, связанные с разработкой кросс-доменных, надежных и объяснимых систем обнаружения, предназначенных для практической интеграции в схемы защиты ASV. В работе также предложена классификация методов детекции синтетической речи, учитывающая тип используемых признаков и архитектурные особенности моделей.

Ключевые слова: синтетическая речь, спуфинг, ASV, аудиодипфейк, TTS, преобразование голоса, атака воспроизведения, антиспуфинг, самоконтролируемое обучение, кросс-доменная устойчивость.

СИНТЕТИКАЛЫҚ СӨЙЛЕУДІ ДЕТЕКЦИЯЛАУДЫҢ ЖӘНЕ ДИКТОРДЫ ДАУЫСТЫ АУЫСТЫРУ ШАБУЫЛДАРЫНАН АВТОМАТТЫ ВЕРИФИКАЦИЯЛАУ ЖҮЙЕЛЕРІН ҚОРҒАУДЫҢ ҚАЗІРГІ ЗАМАНҒЫ ӘДІСТЕРІ

Ә.Е. Ержан, А.Т. Ахмедиярова, Ж.К. Алимсеитова
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық емес қоғамы, Алматы, Қазақстан,
e-mail: a.yerzhan@satbayev.university

Бұл мақала синтезделген сөйлеуді анықтау және автоматты спикерді растау жүйелерін дауыстық алдау шабуылдарынан қорғаудың қазіргі әдістеріне жүйелі аналитикалық шолу ұсынады. Дауыс жалғандау шабуылдарының негізгі кластары қарастырылған, соның ішінде мәтіннен сөйлеу синтезі, дауыс трансформациясы, қайта ойнатқыш шабуылдары, аудиодипфейк және олардың аралас сценарийлері. Пайдаланылатын деректер жиынтықтары, акустикалық сипаттамалары, модельдердің архитектурасы, оқыту парадигмалары және бағалау метрикалары бойынша салыстырмалы талдау жүргізілді.

Зерттеудің қазіргі жағдайы ASVspoof деректер жиынтығы мен бақылаулы оқыту тәсілдерінің үстемдігімен сипатталады, бұл нәтижелерді салыстыруға мүмкіндік береді, бірақ деректер жиынтығы арасындағы ауысу және домендік ауысу жағдайында модельдердің жалпылау қабілетін шектейді. Негізгі шешілмеген мәселелер әлі де сақталып отыр: бұрын байқалмаған шабуыл түрлеріне

төзімділік, шу мен арна бұрмалануына сезімталдық, сондай-ақ қолданыстағы модельдердің интерпретациялау мүмкіндігінің шектеулілігі.

Талдау негізінде негізгі әдіснамалық шектеулер анықталып, ASV қорғау схемаларына практикалық енгізуге арналған кросс-домендік, берік және түсіндірілетін анықтау жүйелерін дамытуға қатысты әрі қарай зерттеудің басым бағыттары қалыптастырылды. Сонымен қатар мақалада қолданылатын ерекшеліктер түрі мен модельдердің архитектуралық сипаттамаларын ескере отырып, синтетикалық сөйлеуді анықтау әдістерінің жіктемесі ұсынылады.

Түйін сөздер: синтетикалық сөйлеу, алдау, ASV, аудио аудиодипфейк, TTS, дауыс трансформациясы, қайта ойнату шабуылы, алдауға қарсы шаралар, өзін-өзі бақылау негізіндегі оқыту, домендер арасындағы беріктік.

MODERN METHODS FOR DETECTING SYNTHETIC SPEECH AND PROTECTING AUTOMATED SPEAKER VERIFICATION SYSTEMS AGAINST VOICE SPOOFING ATTACKS

A.Y. Yerzhan✉, A.T. Akhmediyarova, Zh.K. Alimseitova

Non-Profit Joint-Stock Company «K.I. Satbayev Kazakh National Research Technical University», Almaty, Kazakhstan
e-mail: a.yerzhan@satbayev.university

The article represents a systematical analytical review of the current methods in the detection of synthesized speech and protection against voice spoofing attacks of automatic speaker verification systems. The key types of voice spoofing attacks are discussed, such as text-to-speech synthesis, voice transformation, playback attacks, audio deepfakes, and their hybrid situations.

There is a comparison of the datasets used, acoustic properties, model design, training regimes, and performance measures. It is known that the current state of research is linked with the commonness of the ASVspoof datasets and supervised learning methods, which assure the comparability of the findings, but limit the applicability of models in the situation of cross-dataset transfer and domain shift. They show that the key unsolved problems are: resistance to previously unknown types of attacks, noise sensitivity and channel distortion sensitivity and poor interpretability of existing models.

Based on the analysis, the main methodological limitations were identified, and priority areas for further research were formulated, related to the development of cross-domain, reliable, and explainable detection systems intended for practical integration into ASV protection schemes. The paper also proposes a classification of synthetic speech detection methods that takes into account the type of features used and the architectural characteristics of the models.

Keywords: synthetic speech, spoofing, ASV, audio deepfake, TTS, voice transformation, replay attack, anti-spoofing, self-supervised learning, cross-domain robustness.

Введение. Стремительное развитие технологий синтеза и модификации речи существенно изменило ландшафт угроз в системах голосовой аутентификации. Современные нейронные методы генерации аудио позволяют создавать высокореалистичные аудиодипфейки, практически неотличимые от подлинной речи, что делает системы автоматической верификации диктора (ASV) уязвимыми к атакам подмены голоса, включая синтез речи, преобразование голоса и воспроизведение. В условиях широкого применения голосовой биометрии в удалённой аутентификации, включая банковские сервисы и KYC-процедуры, проблема достоверности речевого сигнала приобретает критическое значение, что требует разработки надёжных методов детекции синтетической речи и защиты ASV.

Технологии дипфейка, синтетической и поддельной речи в настоящее время рассматриваются как самостоятельная проблемная область на пересечении автоматической верификации диктора, цифровой аудиофорензики и более широких задач аудиодетекции [1- 3]. Значимость этой

области определяется не только самим развитием средств генерации и подмены речи, но и необходимостью оценивать устойчивость детектирующих систем в условиях спуфинг, дипфейк и состязательных сценариев, всё более приближённых к реальной эксплуатации [4,5]. Особую важность проблема приобретает потому, что атаки, основанные на синтезе и модификации голоса, непосредственно затрагивают защищённость систем голосовой биометрии и достоверность проверки аудиоподлинности в прикладных контекстах [1,2]. Это особенно заметно в таких задачах, как KYC-проверка живости голоса и детекция речевой социальной инженерии, где различение подлинной и поддельной речи имеет прямое практическое значение [6, 7]. В этих условиях разработка надёжных методов детекции синтетической речи становится необходимым условием защиты систем верификации диктора и смежных контуров голосовой аутентичности [1, 5, 7].

Практическая значимость данной проблемы особенно отчётливо проявляется в тех прикладных ситуациях, где голос используется как значимый сигнал для принятия решений и где поддельная речь способна непосредственно подорвать достоверность проверки [1, 7]. Для систем автоматической верификации диктора угроза не ограничивается одним типом воздействия, поскольку в рассматриваемых источниках прямо представлены атаки логического доступа на основе TTS/VC, атака воспроизведения, а также более широкие комбинации имитации, воспроизведения, преобразования голоса и синтеза речи, направленные против голосовой биометрии [1,8,9]. Тот же круг рисков распространяется и на KYC-сценарии с проверкой живости голоса, где различение подлинной и поддельной речи выступает как практический предварительный этап последующей аутентификации [6, 10]. Помимо этого, речевая социальная инженерия, включая вишинг, показывает, что угрозы, связанные с подменой или манипуляцией голосовым контентом, затрагивают и пользовательские коммуникационные контуры [7]. Именно поэтому защита ASV и смежных задач голосовой аутентичности всё в большей степени зависит от надёжных методов противодействия как синтетическим, так и ориентированным на воспроизведение атакам спуфинга [1,9,11].

Целью настоящей статьи является систематизация и сравнительный анализ современных методов детекции синтетической речи и антиспуфинга, а также выявление ключевых ограничений и направлений развития систем защиты автоматической верификации диктора (ASV) в условиях эволюции голосовых атак.

Научная новизна работы заключается в формировании единой аналитической рамки, объединяющей задачи детекции синтетической речи, антиспуфинга и защиты ASV, а также в разработке расширенной классификации методов детекции с учётом типа атак, используемых представлений сигнала, архитектурных решений и уровня обобщающей способности моделей. В отличие от существующих обзорных работ, предложенный подход ориентирован на анализ устойчивости методов в условиях междатасетного переноса, сдвига домена и появления ранее не встречавшихся атак.

В данной работе:

- систематизированы современные датасеты и экспериментальные протоколы оценки в задачах антиспуфинга;

- предложена классификация методов детекции синтетической речи по уровню представления признаков и архитектурной сложности;

- проведён сравнительный анализ подходов с точки зрения устойчивости, переносимости и практической применимости в системах ASV;

- выявлены ключевые методологические ограничения и сформулированы приоритетные направления дальнейших исследований.

Представленные результаты формируют целостное представление о современном состоянии области и её ключевых направлениях развития.

Материалы и методы. Данная работа выполнена в формате аналитического обзора и направлена на систематизацию и сравнительный ана-

лиз исследований в области детекции синтетической речи, аудиодипфейков и спуфинг-атак, а также методов защиты систем автоматической верификации диктора от атак подмены голоса [1-3]. В рамках принятого методологического подхода указанные направления рассматриваются как взаимосвязанные компоненты единой задачи обеспечения устойчивости голосовых систем к искусственно сгенерированным и модифицированным речевым воздействиям. Такой подход обеспечивает сопоставимость существующих решений по используемым признакам, архитектурам моделей, метрикам оценки и экспериментальным сценариям при сохранении целостной аналитической рамки.

В настоящем обзоре рассматривается совокупность научных публикаций, отобранных по тематической релевантности задачам детекции синтетической речи и антиспуфинга в системах автоматической верификации диктора. Основной массив работ относится к современному этапу развития области и включает преимущественно исследования последних лет, что позволяет сосредоточить анализ на актуальных архитектурных, датасетных и методических подходах. При этом целью данной работы не является воспроизведение формализованной процедуры систематического обзора; акцент сделан на последовательном описании логики отбора публикаций и их аналитической интерпретации в рамках единой исследовательской рамки.

В развитие обсуждения прикладной значимости голосовых атак следует отметить, что по данной тематике уже существуют обзорные и постановочные публикации, однако они, как правило, охватывают либо атаки синтеза речи на голосовую биометрию в конкретных прикладных контекстах, либо более широкий круг вопросов дипфейк-генерации, ИИ-детекции и цифровой форензики [1,2]. Наряду с этим представлены работы, рассматривающие применение архитектур трансформеров в задачах аудиодетекции, а также публикации, сосредоточенные на вишинге и состязательных или антифорензических угрозах, то есть на смежных или более широких аспектах проблемы [3,4,7]. В отличие от такого более общего или частично специализированного охвата, настоящий обзор сосредоточен именно на методах детекции синтетической речи и защите систем автоматической верификации диктора от атак подмены голоса, включая подходы, ориентированные на обобщённую детекцию, устойчивость, спуфинг-агностичные и одноклассовые постановки, а также на более экономные по разметке схемы обучения [12- 16]. Детальное сравнение с близкими обзорными и смежными работами приведено в Таблице 1.

Таблица 1 - Сравнение профильных обзорных работ и настоящего обзора

Авторы	Год	Основной фокус / вклад	Ограничения	Релевантность для настоящего обзора
Кузнецов и др. [1]	2021	Обзор атак синтеза речи на системы голосовой биометрии в банковском контексте и практических контрмер для защиты ASV	Работа носит преимущественно концептуально-прикладной характер и не ориентирована на единый экспериментальный протокол сопоставления методов	Близка к теме защиты голосовой биометрии, но сосредоточена на банковском прикладном контексте
Bendiab и др. [2]	2025	Обзор генерации дипфейков, ИИ-детекции и вызовов цифровой форензики	Имеет широкий обзорный охват; количественная сопоставимость методов в единой экспериментальной рамке выражена ограниченно	Релевантна как контекст детекции дипфейков и цифровой форензики, но не фокусируется специально на антиспуфинге ASV

Zaman и др. [3]	2025	Обзор применения архитектур трансформеров в задачах аудиодетекции, включая направление дипфейков	Сравнение подходов основано на неоднородных постановках исходных исследований; отдельный фокус на защите от спуфинга не является центральным	Полезна для архитектурного контекста, но шире темы детекции синтетической речи для ASV
Ain Q.U. и др. [4]	2026	Комплексный обзор состязательных и генеративных антифорензических атак и мер защиты в аудиовизуальной детекции дипфейков	Работа охватывает широкий мультимодальный контекст, а сравнение результатов зависит от неоднородности первичных исследований	Значима для вопросов надёжности и антифорензики, но шире и мультимодальнее, чем фокус на детекции синтетической речи и защите ASV
Andreas Triantafyllopoulos и др. [7]	2025	Обзор вишинга как задачи речевой социальной инженерии с акцентом на риски, данные и направления развития методов детекции	Основной акцент сделан на постановке проблемы и прикладном контексте; единый эталонный контур для сопоставления методов не является центральным элементом работы	Важна для прикладного контекста голосовых атак, но охватывает более узкий класс сценариев по сравнению с антиспуфингом для ASV
Настоящий обзор	-	Обзор методов детекции синтетической речи и защиты систем распознавания диктора / ASV от атак подмены голоса с систематизацией типов атак, датасетов, признаков, моделей, парадигм обучения, метрик и ограничений	Сфокусирован на задачах детекции синтетической речи и антиспуфинга в контуре распознавания диктора	Непосредственно соответствует заявленной теме и объединяет методологический, оценочный и прикладной аспекты в рамках защиты ASV

Сопоставление работ, представленных в таблице 1, показывает, что существующие обзорные публикации охватывают главным образом либо отдельные прикладные контексты защиты голосовой биометрии, либо более широкий круг вопросов deepfake-генерации, аудиодетекции, цифровой форензики, vishing и anti-forensic угроз. При этом их фокус, как правило, смещён в сторону смежных или более общих аспектов проблемы, тогда как вопросы детекции синтетической речи и защиты систем автоматической верификации диктора от атак подмены голоса не выступают в них как единый центральный предмет анализа. В этом отношении рассматриваемый обзор занимает более целевую позицию, поскольку объединяет именно synthetic speech detection, anti-spoofing и защиту ASV в одной аналитической рамке, что делает его логически обоснованным и тематически специализированным по сравнению с близкими обзорными работами.

Критерием включения публикаций в обзор служила их прямая содержательная связь с задачами детекции синтетической речи, спуфинг-атак, антиспуфинга, детекции атак воспроизведения, преобразования голоса, синтеза речи, проверкой живости голоса и защитой систем автоматической верификации диктора от атак подмены голоса. Приоритет отдавался работам, в которых явно рассматривались методы обнаружения искусственно сгенерированной или подменённой речи, уязвимости голосовых систем либо подходы к противодействию таким воздействиям. Напротив, исследования, сосредоточенные исключительно на генерации речи, общем развитии ASR или смежных речевых технологиях без выраженной связи с безопасностью, детекцией или защитой от атак, не рассматривались как центральные для настоящего обзора и учитывались лишь постольку, поскольку они были необходимы для контекстуализации основной проблематики.

Отобранные публикации анализировались по единой системе параметров, обеспечивающей их содержательную сопоставимость в пределах общей исследовательской рамки. В центре внимания находились исследовательский фокус каждой работы, основная идея предлагаемого подхода, применяемые методы и алгоритмические решения, типы рассматриваемых атак, используемые признаки и представления аудиосигнала, характеристики задействованных датасетов, а также практический контекст применения. Дополнительно учитывались заявленные авторами преимущества, ограничения, элементы научной новизны и направления дальнейшего развития. Такая схема анализа позволила не только описать отдельные результаты, но и выявить повторяющиеся методологические закономерности, различия в экспериментальных постановках и устойчивые исследовательские акценты.

На завершающем этапе аналитической обработки публикации были сопоставлены и тематически сгруппированы по ключевым направлениям, включая детекцию синтетической речи, антиспуфинг для автоматической верификации диктора, детекцию атак воспроизведения, методы, связанные с проверкой живости, и смежные прикладные аспекты голосовой безопасности. Такая тематическая организация материала позволила перейти от описания отдельных работ к выявлению более устойчивых исследовательских конфигураций, проследить, какие подходы оказываются наиболее продуктивными в различных постановках, и определить те ограничения, которые сохраняются при переходе от лабораторных эталонных сценариев к более реалистичным условиям применения. Именно в этой аналитической рамке стало возможным выделить основные тенденции развития области, сильные стороны существующих решений и ключевые исследовательские пробелы, сохраняющие значение для дальнейшего развития методов детекции синтетической речи и защиты систем распознавания диктора от атак подмены голоса.

Результаты и обсуждение. Датасеты, используемые для детекции синтетической речи и антиспуфинга в системах распознавания диктора. В исследованиях по детекции синтетической речи и антиспуфингу выбор датасета выступает не вспомогательным, а определяющим методологическим фактором, поскольку именно совокупность используемых корпусов задаёт типы атак, структуру речевого материала, степень контролируемости условий записи и допустимые режимы сопоставления моделей. В этой области эталонные корпуса непосредственно влияют на корректность сравнения алгоритмов, воспроизводимость результатов, оценку устойчивости и выводы об обобщающей способности систем, поскольку различия между корпусами затрагивают как характер сценариев спуфинга, так и соотношение между лабораторными и более реалистичными условиями использования [3,5]. Для задач защиты систем автоматической верификации диктора это особенно важно, так как датасет определяет, идет ли речь об атаках синтеза речи по тексту, преобразования голоса, атаках воспроизведения, задачах проверки живости голоса или о более широком контексте аудиодипфейков, а следовательно, формирует и критерии экспериментальной валидности [8,9,10,17].

Используемые в данной области наборы данных целесообразно классифицировать прежде всего по условиям экспериментальной оценки, поскольку именно режим проверки определяет, какие свойства модели оцениваются и насколько корректно интерпретируются её результаты. В одной группе находятся контролируемые эталонные условия, ориентированные на строгое сопоставление подлинной и поддельной речи в рамках заранее заданных протоколов, что типично для постановок логического доступа и физического доступа, включая сценарии TTS/VC и воспроизведения [8,9,10,12,14,15,17,18,19].

Другая группа связана с задачами проверки живости голоса и KYC-ориентированной оценки, где на первый план выходит способность модели различать подлинную и поддельную речь в предварительном контуре голосовой аутентификации [6, 10]. Наконец, отдельный класс образуют кросс-доменные, мультимодальные и соревновательные условия оценки, в которых осо-

бенно важны переносимость, устойчивость к шуму и каналу, чувствительность к сдвигу домена, а также поведение модели за пределами строго контролируемой лабораторной среды [5,9,13,20,21,22,23]. Такая классификация позволяет рассматривать датасеты не только по типу атаки, но и по тому, какие аспекты обобщающей способности, устойчивости и внешней валидности проверяются в соответствующем исследовании.

Наиболее устойчивое положение в рассматриваемом поле занимает семейство ASVspoof, которое фактически выполняет функцию основной эталонной платформы для детекции синтетической речи и защиты ASV [5,8,9,12,13,14,24,25]. В его рамках ASVspoof 2019 LA и связанные сценарии логического доступа особенно часто используются для оценки методов, ориентированных на выявление TTS/VC-подделок, одноклассовую детекцию и спуфинг-агностичное моделирование, что объясняет их высокую популярность как в классических, так и в более современных архитектурных работах [8,12,14,15,18,19].

Для исследований, ориентированных на воспроизведение, сопоставимую роль играют ASVspoof 2017, ASVspoof 2019 PA и ASVspoof 2021 PA, поскольку они позволяют исследовать влияние переизлучения, канальных условий и постановки физического доступа на качество детекции [9,10,11,17]. Существенное значение приобрёл и ASVspoof 5, представленный как более реалистичный краудсорсинговый корпус с семью непересекающимися по дикторам разделами и 32 атакующими алгоритмами, что делает его важным ориентиром для современных исследований спуфинга, дипфейков и детекции состязательных воздействий [5]. Именно семейство ASVspoof в наибольшей степени задаёт общую экспериментальную рамку области, обеспечивая сопоставимость результатов между работами и формируя доминирующую логику современных исследований антиспуфинга.

Наряду с ASVspoof в рассматриваемых работах используются и другие публичные датасеты, расширяющие исследовательское поле и позволяющие проверять модели в дополнительных условиях. К числу речевых ресурсов относятся прежде всего LibriSeVoc, применяемый для анализа артефактов нейронных вокодеров [18], а также In-The-Wild, используемый в кросс-доменных проверках на менее контролируемом речевом материале [3]. В постановках, ориентированных на воспроизведение и проверку живости, важную роль играют POCO как ресурс для проверки живости голоса [6,10] и ReplayDF как более реалистичная база для валидации атак воспроизведения [9].

В более широком исследовательском контексте привлекаются также соревновательные наборы данных ADD 2023 для шумовых и мультиатаковых условий [21] и мультимодальные ресурсы, такие как FakeAVCeleb [22]. В совокупности эти датасеты играют дополняющую роль: они ослабляют зависимость анализа от одной эталонной среды и позволяют более содержательно оценивать переносимость и устойчивость методов за пределами стандартных протоколов ASVspoof.

С точки зрения характеристик датасеты различаются по объёму, разнообразию говорящих, типам подделки и степени приближения к реальным условиям. Наиболее явно эти параметры артикулированы в ASVspoof 5, где подчёркивается масштаб корпуса, широкое разнообразие дикторов и атакующих алгоритмов, что делает его одним из немногих ресурсов, специально спроектированных как более реалистичный эталонный набор для новой волны исследований спуфинга и дипфейков [5]. В противоположность этому ряд широко используемых наборов данных сохраняет более контролируемую экспериментальную структуру, в которой атаки и условия записи заранее типизированы и потому удобны для строгого сопоставления методов, как это характерно для ASVspoof LA/PA и ASVspoof 2017 [8,9,12,24]. Вместе с тем часть исследований целенаправленно обращается к менее контролируемым или более прикладным ресурсам, чтобы приблизить проверку к реальным условиям и оценить устойчивость к шуму, каналу и междатасетному переносу [3,6,9,21].

Основные ограничения существующих дата-

сетов связаны с тем, что значительная часть эталонных корпусов формируется в контролируемых условиях и потому не всегда отражает сложность реального речевого взаимодействия. Это проявляется в зависимости результатов от конкретного корпуса, в чувствительности к сдвигу домена и в ухудшении качества при переходе к ранее не встречавшимся генераторам, новым каналам, шумовым условиям и иным распределениям подлинной и поддельной речи [9,18,19,26].

В работах, ориентированных на воспроизведение, дополнительно подчёркивается, что оценка на одном эталонном сценарии ограничивает выводы о переносимости на более новые и разнообразные условия, из-за чего возникает необходимость расширения междатасетной оценки [9,17]. Даже там, где используются более реалистичные ресурсы, сохраняется потребность в дальнейшем расширении языков, каналов, типов атак и протоколов оценки, что особенно явно сформулировано для ASVspoof 5 и более сложных кросс-доменных дипфейк-сценариев [5]. В совокупности это означает, что модели нередко рискуют переобучаться на корпус-специфические признаки, а не на действительно устойчивые признаки подмены голоса, что снижает надёжность их обобщения за пределами исходного набора данных [9,19,26].

Поэтому развитие более репрезентативных, разнообразных и приближённых к реальным условиям датасетов остаётся одной из центральных задач области. Необходимость таких ресурсов обусловлена не только требованиями к большей внешней валидности эталонных корпусов, но и тем, что именно датасетная база определяет, какие признаки оказываются информативными, какие архитектуры демонстрируют устойчивость и какие стратегии детекции сохраняют эффективность при междатасетном переносе и сдвиге домена [5,9,19,26]. В этом смысле анализ методов детекции синтетической речи и защиты ASV не может рассматриваться изолированно от используемых наборов данных, поскольку различия между ними непосредственно формируют исследовательский ландшафт, в котором оцениваются преимущества и ограничения существующих решений. Именно поэтому дальнейшее рассмотрение методов детекции синтетической речи и защиты систем распознавания диктора целесообразно вести в тесной связи с той датасетной базой, на которой эти методы проектируются, обучаются и проверяются.

Методы детекции синтетической речи и защиты ASV от атак подмены голоса. Методы детекции синтетической речи и защиты систем автоматической верификации диктора существенно различаются по используемым признаковым представлениям, архитектурным решениям и уровню обобщающей способности. Прежде всего, различия определяются типом признаков, на которых основаны модели: от явно заданных акустических характеристик до автоматически извлекаемых глубинных репрезентаций. Кроме того, подходы варьируются по уровню анализа сигнала от локальных спектральных и просодических признаков до моделирования временных, межканальных и контекстных зависимостей. Существенным фактором также является степень устойчивости методов к новым сценариям спуфинга и их практическая применимость в контуре защиты ASV, что особенно проявляется при переходе от классических схем к современным подходам обучения представлений и архитектурам, ориентированным на безопасность [1-3].

К числу базовых и сохраняющих значимость подходов относятся методы, основанные на использовании ручных и полуавтоматически извлекаемых признаков. В рамках данного подхода синтетическая или подменённая речь интерпретируется как источник аномалий в различных акустических представлениях сигнала, включая кепстральные, спектральные, фазовые и просодические характеристики. Именно поэтому в ряде работ используются мультикепстральные представления, дельта-признаки, графовые спектральные преобразования, признаки речевой акустики, а также специально сконструированные наборы признаков, ориентированные на выявление артефактов атак воспроизведения, TTS- и VC-атак [9,11,17,24,27,28]. Существенное достоинство таких методов состо-

ит в их относительной интерпретируемости, поскольку исследователь может соотносить решение модели с конкретными свойствами сигнала, такими как спектральные искажения, нестабильность фазовой структуры, атипичная просодия или особенности канала [1,29]. Однако зависимость от заранее выбранного признакового пространства ограничивает их адаптивность в условиях быстро развивающихся дипфейк- и спуфинг-атак, когда новые генеративные механизмы начинают производить подделки, менее уязвимые для традиционных акустических индикаторов [9,17,28].

В современных исследованиях доминирующее положение в задачах детекции синтетической речи и антиспуфинга занимают методы глубокого обучения, обеспечившие переход от фиксированных признаковых представлений к автоматическому извлечению дискриминативных репрезентаций непосредственно из аудиосигнала. Наибольшее распространение получили сверточные и остаточные архитектуры, модели на основе механизмов внимания, а также гибридные подходы, интегрирующие спектральную обработку с моделированием временной динамики сигнала.

В ряде работ используются решения, подобные ResNeXt, остаточные сверточные блоки с механизмами внимания, адаптивные схемы возмущений, модели с многомерным взаимодействием признаков и архитектуры, ориентированные на усиление слабых артефактов подделки [21,25,26,30,31,32]. Их преимущество по сравнению с классическими подходами, основанными на признаках, связано не только с более высокой точностью на эталонных корпусах, но и со способностью совместно учитывать несколько уровней представления сигнала, извлекая признаки, которые трудно задать вручную. Вместе с тем рост архитектурной сложности сам по себе не устраняет ограничений, поскольку переносимость таких моделей по-прежнему существенно зависит от датасета, протокола обучения и характера атак [21,25,30].

Современный этап развития методов детекции синтетической речи характеризуется переходом к архитектурам на основе трансформеров и подходам самоконтролируемого обучения, ориентированным на формирование универсальных и устойчивых представлений аудиосигнала. Эти методы направлены на снижение зависимости от корпусно-специфических шаблонов и повышение обобщающей способности моделей. Трансформерные архитектуры демонстрируют эффективность в моделировании долгосрочных зависимостей и интеграции разнородных признаков, что подтверждается как специализированными решениями, так и обзорными исследованиями в области аудиодетекции [3,8]. Параллельно усиливается интерес к самоконтролируемому обучению и связанным с ним схемам обучения представлений, включая методы с неконтрастивным обучением, метаобучением и раздельным обучением, которые направлены не только на повышение точности, но и на улучшение обобщающей способности, устойчивости к ранее не встречавшимся атакам и междатасетному переносу [14,16]. Однако эти подходы не следует трактовать как универсальное решение: в существующих работах они скорее обозначают важное направление эволюции поля, чем полностью преодолённый набор проблем, поскольку их эффективность по-прежнему зависит от характера данных, протокола обучения и сценария оценки [3,8,14,16].

Отдельное направление составляют методы, ориентированные на защиту систем автоматической верификации диктора. В данном контексте антиспуфинг рассматривается не как изолированная задача бинарной классификации, а как компонент комплексной архитектуры защиты, в которой существенное значение имеет не только точность различения подлинной и поддельной речи, но и влияние принимаемых решений на функционирование самой системы верификации.

В существующих исследованиях представлены как автономные схемы детекции, реализуемые в виде внешнего фильтра перед ASV, так и интегрированные подходы, учитывающие требования голосовой биометрии, задачи проверки живости и противодействие атакам воспроизве-

дения [1,9,10,24]. Такое различие принципиально важно, поскольку прикладная задача состоит не просто в обнаружении подделки как таковой, а в снижении уязвимости системы аутентификации в реальных эксплуатационных сценариях, включая банковскую биометрию и KYC-контуры [1,6,10]. Поэтому в исследованиях защиты ASV всё большее значение приобретают не только показатели детекции, но и то, насколько модуль антиспуфинга согласован с логикой функционирования всей системы и её требованиями к устойчивости и безопасности [9,14,20].

В современных исследованиях ключевое значение приобретают обобщённые, устойчивые и спуфинг-агностичные подходы, включая одноклассовые и экономные по разметке методы, ориентированные на условия быстро эволюционирующего ландшафта атак. Эти методы направлены на снижение зависимости моделей от фиксированного набора известных подделок и повышение их обобщающей способности. Одноклассовые и обобщённые схемы детекции позволяют формулировать задачу в более реалистичной постановке, предполагающей отсутствие априорной информации о типах атак [12,13,15].

Робастные и унифицированные подходы, включая методы с состязательным обучением, обратными возмущениями и иными механизмами повышения устойчивости, направлены на то, чтобы модель сохраняла качество при усложнении акустических условий и смене типа спуфинг-воздействия [9,14,21,31]. Наконец, экономные по разметке и основанные на представлениях решения свидетельствуют о стремлении преодолеть зависимость детекции от чрезмерно подробной разметки и узких обучающих сценариев, что особенно важно в условиях расширяющегося спектра дипфейк- и технологий синтетической речи [16]. В совокупности эти направления показывают, что современная область постепенно смещается от распознавания отдельных известных атак к построению более общих механизмов противодействия подделке голоса.

В целом развитие методов детекции синтетической речи и защиты ASV демонстрирует переход от более узких, корпусно-зависимых и признаково-ориентированных решений к архитектурно более сложным, устойчивым и практически значимым подходам. Этот переход сопровождается расширением исследовательского внимания к вопросам обобщающей способности, междатасетного переноса и интеграции механизмов антиспуфинга в реальные контуры голосовой аутентификации. Вместе с тем накопленные результаты не устраняют фундаментальных ограничений, связанных со смещением датасета, сдвигом домена, интерпретируемостью и реальным развёртыванием моделей за пределами лабораторных эталонных сценариев [9,4,16,20]. Именно эти сохраняющиеся противоречия и подводят к рассмотрению ключевых ограничений существующих решений и тех исследовательских пробелов, которые продолжают определять развитие данной области.

На основе проведённого анализа предлагается концептуальная архитектура устойчивой системы детекции синтетической речи и защиты систем автоматической верификации диктора от атак подмены голоса (рисунок 1).

В отличие от изолированного рассмотрения отдельных методов, в настоящей работе предлагается концептуальная архитектура устойчивой системы детекции синтетической речи, ориентированная на интеграцию различных уровней анализа аудиосигнала и обеспечение защиты ASV в условиях разнообразных атак.

Предлагаемая архитектура включает несколько функциональных уровней.

На первом уровне осуществляется предварительная обработка сигнала, включающая нормализацию и подавление шума. На втором уровне реализуется модуль извлечения признаков, обеспечивающий формирование спектральных, кепстральных и временных представлений сигнала. На следующем уровне используется ансамбль моделей детекции, включающий сверточные, трансформерные и модели обучения представлений. Далее реализуется модуль обобщённой детекции, ориентированный на выявление ранее не наблюдавшихся типов атак. На заключительном этапе осуществляется интеграция с систе-

мой автоматической верификации диктора, где результаты детекции используются для принятия решения.

Предложенная архитектура отражает переход от изолированных методов детекции к комплексным системам, ориентированным на устойчивость, обобщающую способность и практическую применимость.

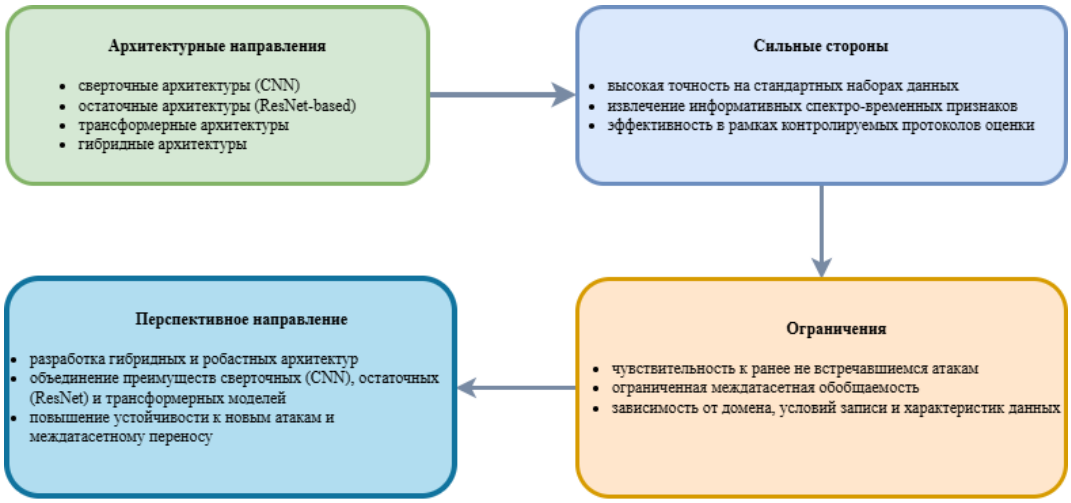


Рис.1 - Концептуальная архитектура устойчивой системы детекции синтетической речи и защиты ASV от атак подмены голоса

Таблица 2 - Сравнительный анализ методов детекции синтетической речи

Класс методов	Представление признаков	Устойчивость к новым атакам	Зависимость от датасета	Интерпретируемость	Применимость в ASV
Ручные признаки	Явно заданные (MFCC, CQCC)	Низкая	Высокая	Высокая	Ограниченная
CNN/ResNet	Автоматически извлекаемые	Средняя	Высокая	Средняя	Высокая
Transformer	Контекстные представления	Средневысокая	Средняя	Низкая	Перспективная
Self-supervised	Универсальные эмбеддинги	Высокая	Низкая	Низкая	Очень высокая
One-class / spoof-agnostic	Аномалии	Высокая	Средняя	Средняя	Ключевая

Обобщая рассмотренные подходы, следует отметить, что в задачах детекции синтетической речи и антиспуфинга наибольшее распространение получили архитектуры глубокого обучения, включая сверточные, остаточные, трансформерные и гибридные модели. Их широкое применение обусловлено высокой способностью извлекать информативные признаки и обеспечивать убедительные результаты в рамках стандартных экспериментальных протоколов. Вме-

сте с тем проведённый анализ показывает, что использование только одного класса архитектур не всегда обеспечивает достаточную устойчивость к новым типам атак, междатасетному переносу и условиям реальной эксплуатации. В связи с этим в качестве перспективного направления представляется комплексный подход, ориентированный на объединение сильных сторон различных архитектурных решений с целью повышения устойчивости, обобщающей способности и практической применимости системы (таблица 2).

Классификация методов детекции синтетической речи.

На основе проведённого анализа современные методы детекции синтетической речи и антиспуфинга целесообразно классифицировать по уровню представления признаков и архитектурной организации моделей.

В рамках данной классификации можно выделить следующие основные классы:

1. Методы на основе ручных и инженерных признаков. Данный класс включает подходы, использующие заранее заданные акустические характеристики, такие как MFCC, CQCC, спектральные и фазовые признаки, а также их производные. Эти методы характеризуются высокой интерпретируемостью, однако обладают ограниченной устойчивостью к новым типам атак.

2. Глубокие сверточные и гибридные модели. К этому классу относятся архитектуры CNN, ResNet, ResNeXt и их модификации, способные автоматически извлекать дискриминативные признаки из аудиосигнала. Они демонстрируют высокую точность на эталонных датасетах, но остаются чувствительными к сдвигу домена.

3. Трансформерные и attention-ориентированные модели. Методы данного класса используют механизмы самовнимания для моделирования долгосрочных зависимостей в сигнале. Их преимуществом является более гибкое представление аудиоданных, однако они требуют значительных объёмов данных и вычислительных ресурсов.

4. Методы обучения представлений (self-supervised и label-efficient). Данный класс включает подходы, ориентированные на извлечение универсальных представлений аудиосигнала с минимальной зависимостью от разметки. Они являются перспективными с точки зрения обобщающей способности и устойчивости к новым атакам.

5. Обобщённые и спуфинг-агностичные методы. Эти методы направлены на выявление аномалий в аудиосигнале без жёсткой привязки к конкретным типам атак. Они наиболее соответствуют реальным условиям эксплуатации, однако пока не обеспечивают стабильного превосходства во всех сценариях.

Предложенная классификация позволяет перейти от описания отдельных моделей к более системному пониманию структуры исследовательского поля и выявлению направлений, обладающих наибольшим потенциалом для развития устойчивых систем защиты ASV.

Ограничения и исследовательские пробелы. Несмотря на значительный прогресс в области детекции синтетической речи и антиспуфинга, современное состояние исследований показывает, что высокая точность, достигаемая на отдельных наборах данных, не обеспечивает эквивалентного уровня практической надёжности методов. Накопленные результаты свидетельствуют о существенном развитии как признаково-ориентированных подходов, так и методов глубокого обучения и обучения представлений. Однако их эффективность остаётся ограниченной вследствие неоднородности используемых датасетов, вариативности сценариев атак и зависимости от условий функционирования систем голосовой биометрии [1-3]. В результате одна и та же архитектурная концепция может демонстрировать высокие показатели в рамках конкретного экспериментального протокола, но существенно терять устойчивость при переносе на иные акустические, эксплуатационные и ориентированные на безопасность условия [14,20].

Одной из ключевых проблем остаются смещение датасета, сдвиг домена и ограниченная обоб-

щающая способность моделей, тесно связанные с неполной сопоставимостью результатов между работами. Значительная часть современных решений оценивается в пределах эталонных сценариев ASVspoof и близких к ним корпусов, что обеспечивает удобную экспериментальную воспроизводимость, но одновременно усиливает зависимость моделей от корпусно-специфических признаков и особенностей конкретного протокола [9,20]. В этих условиях высокая результативность может отражать не столько устойчивое распознавание признаков подделки, сколько успешную адаптацию к структуре конкретного корпуса, типу записи и заданному набору условий спуфинга [13,14]. При переносе на новые каналы записи, шумовые режимы, иные языковые и доменные условия, а также на менее контролируемые данные устойчивость таких моделей часто снижается, что непосредственно ограничивает их внешнюю валидность и практическую ценность [5,9,20,23].

Не менее существенное ограничение связано с быстрым развитием самих технологий подделки голоса. Прогресс в области синтеза речи по тексту, преобразования голоса, нейронных вокодеров и более широких схем генерации аудиодипфейков приводит к тому, что многие корпусно-специфические решения устаревают быстрее, чем успевают стать по-настоящему универсальными [2,4,18]. По мере усложнения генеративных моделей артефакты, на которых основывались ранние и промежуточные детекторы, становятся менее выраженными, а граница между подлинной и поддельной речью оказывается всё более трудноуловимой для методов, ориентированных на фиксированный набор известных атак [5, 8]. Именно поэтому в современной литературе усиливается интерес к обобщённым, спуфинг-агностичным и устойчивым подходам, стремящимся выявлять не частный шаблон конкретного спуфинга, а более общие признаки искусственной модификации речи и аномального распределения сигнала [12,13,14,15,16,21]. Однако и эти направления пока не устраняют проблему полностью, а лишь обозначают наиболее перспективный путь преодоления зависимости от ранее не встречавшихся атак.

Отдельный круг ограничений возникает при переходе от автономной детекции спуфинга к реальной защите систем автоматической верификации диктора. В прикладных системах качество антиспуфингового модуля определяется не только способностью различать подлинную и поддельную речь, но и тем, насколько такое решение согласуется с логикой контура ASV и требованиями реального контура аутентификации [1,9,10]. Для банковской биометрии, KYC-сценариев и голосовой аутентификации в целом это особенно важно, поскольку избыточно жёсткая детекция способна ухудшать практическую применимость системы, тогда как недостаточно строгая сохранять уязвимость к атакам воспроизведения, синтетическим и комбинированным атакам [1,6]. Тем самым проблема защиты ASV оказывается шире простой бинарной классификации: она требует оценки безопасности в связке с ASV, учитывающей совместную работу детекции, аутентификации и механизмов принятия решения в условиях реальной эксплуатации [1,5,9].

Сохраняются и существенные методологические проблемы, связанные с интерпретируемостью, объяснимостью, дефицитом разметки, ограниченным разнообразием данных и воспроизводимостью результатов. По мере усложнения моделей растёт разрыв между высокой эмпирической эффективностью и возможностью надёжно интерпретировать, какие именно свойства сигнала лежат в основе решения и насколько эти свойства устойчивы вне обучающего распределения [2,3,33]. Это особенно заметно в глубоком обучении и гибридных архитектурах, где увеличение ёмкости модели не всегда сопровождается ростом прозрачности. Одновременно ограниченность разметки стимулирует развитие экономных по разметке и связанных с ними слабо контролируемых направлений, однако такие решения пока лишь частично компенсируют нехватку репрезентативных обучающих данных [16]. В совокупности это означает, что многие современные методы становятся технически бо-

лее мощными, но не всегда более объяснимыми, воспроизводимыми и надёжными в прикладном смысле [4,33].

На этом фоне основные исследовательские пробелы просматриваются достаточно отчётливо. Область нуждается в более реалистичных, разнообразных и, по возможности, многоязычных эталонных ресурсах, способных поддерживать не только внутридатасетную, но и полноценную междатасетную оценку в условиях новых каналов, языков и сценариев атак [5]. Не менее важна разработка более содержательной оценки безопасности в связке с ASV, в которой антиспуфинговые методы оценивались бы не изолированно, а в контуре реальной голосовой верификации с учётом эксплуатационных ограничений и комбинированных угроз [1,5,9]. Существенным направлением остаются устойчивые одноклассовые, спуфинг-агностичные и экономные по разметке методы, ориентированные на снижение зависимости от узких эталонных протоколов и от закрытого перечня известных атак [12,15,16]. Наконец, сохраняется потребность в практико-ориентированных решениях, которые были бы устойчивы к новым типам подделки, к сдвигу домена и к реальным условиям развёртывания, а не только к лабораторно контролируемым сценариям [9,14,20].

Таким образом, дальнейшее развитие области определяется не только усложнением моделей и расширением архитектурного инструментария, но и необходимостью улучшать их обобщающую способность, устойчивость, воспроизводимость и прикладную ценность. Современный исследовательский ландшафт показывает, что прогресс в детекции синтетической речи и защите ASV должен оцениваться не по изолированным эталонным результатам, а по степени готовности методов к работе в изменчивых и эксплуатационно сложных условиях [9,14,16,20]. Именно эта двойственная ситуация - заметный технологический прогресс при сохранении фундаментальных ограничений - и определяет ключевые направления дальнейших исследований в данной области.

Выводы. Проведённый анализ показал, что детекция синтетической речи и защита систем автоматической верификации диктора сформировались как комплексная междисциплинарная задача, в которой эффективность решений определяется не только архитектурой модели, но и условиями обучения, характеристиками датасетов и сценариями атак. Установлено, что современные методы демонстрируют высокую результативность в рамках эталонных протоколов, однако их устойчивость существенно снижается при междатасетном переносе, изменении акустических условий и появлении новых типов спуфинг-атак.

Систематизация существующих подходов позволила выделить ключевую тенденцию развития области, заключающуюся в переходе от признаково-ориентированных и корпусно-зависимых методов к архитектурам, основанным на обучении представлений, самоконтролируемом обучении и спуфинг-агностичных стратегиях детекции. Показано, что наибольшим потенциалом обладают методы, ориентированные на обобщающую способность и устойчивость к ранее не наблюдавшимся атакам, однако их практическая эффективность пока ограничена зависимостью от данных и сложностью интеграции в реальные системы ASV.

В ходе исследования выявлено, что основной методологической проблемой остаётся разрыв между лабораторной оценкой и условиями реальной эксплуатации. Доминирование датасетов семейства ASVspoof обеспечивает воспроизводимость экспериментов, но одновременно усиливает риск переобучения моделей на корпусно-специфические признаки. Это приводит к снижению надёжности детекции в прикладных сценариях, включая голосовую биометрию, KYC-проверки и системы голосовой аутентификации.

На основе проведённого анализа обоснована необходимость перехода к более комплексным архитектурным решениям, интегрирующим различные уровни представления сигнала, включая спектральные, временные и контекстные характеристики, а также использующим гибридные подходы, сочетающие глубокое обучение и мето-

ды обучения представлений. Показано, что перспективным направлением является разработка устойчивых, спуфинг-агностичных систем, способных выявлять не конкретные типы атак, а общие признаки искусственной модификации речевого сигнала.

Таким образом, дальнейшее развитие области должно быть направлено на создание более репрезентативных и многоязычных датасетов, расширение междатасетной оценки, разработку методов с высокой обобщающей способностью, а также интеграцию механизмов антиспуфинга в единый контур защиты ASV. Полученные результаты формируют основу для разработки более надёжных и practically-oriented систем детекции синтетической речи, способных эффективно функционировать в условиях постоянно эволюционирующего ландшафта голосовых атак.

Литература

1. Кузнецов А.Ю., Муртазинт Р.А., Гарипов И.М., Фёдоров Е.А., Холоденина А.В., Воробьева А.А. Методы противодействия атакам посредством синтеза речи на голосовые биометрические системы в банковской сфере. //Научно-технический Вестник. -2021.-Т.21. № 1.- С.109-117. DOI 10.17586/2226-1494-2021-21-1-109-117.

2. Gueltoum Bendiab, Houda Haiouni, Isidoros Moulas, Stavros Shiaeles. Deepfakes in digital media forensics: Generation, AI-based detection and challenges. //Information Security and Applications. -2025.-Vol.88 103935. DOI 10.1016/j.jisa.2024.103935.

3. Khalid Zaman, Kai Li, Melike Sah, Cem Direkoglu, et.al. Transformers and audio detection tasks: An overview. //Digital Signal Processing. -2025.-Vol.158:104956. DOI 10.1016/j.dsp.2024.104956.

4. Qurat Ul Ain, Fatima Khalid, Hafsa Ilyas, Ali Javed, et.al. Adversarial and generative AI-based anti-forensics in audio-visual deepfake detection: A comprehensive review and analysis. //Information Fusion. -2026.-Vol.132: 104120. DOI 10.1016/j.inffus.2025.104120.

5. Xin Wang, Héctor Delgado, Hemlata Tak, Jee-weon Jung, Massimiliano Todisco, Ivan Kukanov, Xuechen Liu, Md Sahidullah, Tomi Kinnunen, Nicholas Evans, et.al. ASVspoof 5: Design, collection and validation of resources for spoofing, deepfake, and adversarial attack detection using crowdsourced speech. //Computer Speech & Language. -2026.-Vol.95:101825. DOI 10.1016/j.csl.2025.101825.

6. Buğra Eyidoğan, Gökberk Özsoy, Pedram Khatamino,et.al. Voice Liveness Detection KYC Project: Distinguishing Genuine and Spoofed Voices Using Deep Learning. //Procedia Computer Science. -2025.-Vol.255.-P.63-72. DOI 10.1016/j.procs.2025.02.261.

7. Andreas Triantafyllopoulos, Anika A. Spiesberger, Iosif Tsangko, Xin Jing, et.al.Vishing: Detecting social engineering in spoken communication - A first survey & urgent roadmap to address an emerging societal challenge. //Computer Speech & Language. -2025.-Vol.94: 101802. DOI 10.1016/j.csl.2025.101802.

8. Awais Khan, Khalid Mahmood Malik. SpoTNet: A spoofing-aware Transformer Network for Effective Synthetic Speech Detection.2nd ACM International Workshop on Language. - AI against Disinformation. //History. -2023.-P.10-18. DOI 10.1145/3592572.3592841.

9. Şule Bekiryazıcı, Cemal Hanilçi, Neyir Ozcan. Toward robust replay attack detection in Automatic Speaker Verification: A study of spectrum estimation and channel magnitude response modeling. //Computer Speech & Language. -2026.-Vol.98:101906.DOI 10.1016/j.csl.2025.101906.

10. Arth J. Shah, Madhu R. Kamble. Leveraging Kolmogorov-Arnold networks for voice liveness detection in anti-spoofing systems. //Speech Communication.-2026.-Vol.178:103364. DOI 10.1016/j.specom.2026.103364.

11. Tingting Wang,Marvin Borsdorf, Qoquan Zhang, et.al. Going deeper with log-graph Fourier transform-based feature extraction for playback speech detection. //Applied Acoustics. -2026.-Vol.245:111212. DOI 10.1016/j.apacoust.2025.111212.

12. Jiahong Ye, Diqun Yan, Songyin Fu, Bin Ma, Zhihua Xia. One-class network leveraging spectro-temporal features for generalized synthetic speech detection. //Speech Communication. -2025.-Vol.169:103200. DOI 10.1016/j.specom.2025.103200.

13. Jingze Lu, Yuxiang Zhang, Zhuo Li,et.al. Leveraging distance information for generalized spoofing speech detection. //Computer Speech & Language. -2025.-Vol.94: 101804. DOI 10.1016/j.csl.2025.101804.

14. Zhenyu Wang, John H. L. Hansen. Toward Improving Synthetic Audio Spoofing Detection Robustness via Meta-Learning and Disentangled Training with Adversarial Examples. // IEEE Access. -2024.-Vol.12.-P. (99):1-1. DOI 10.1109/ACCESS.2024.3421281.

15. Jianqiang Zhang, Yushui Geng, Peng Zhang,et.al. One-class neural network with hybrid pooling on dual-band frequency for spoofing speech detection. //Computer Speech & Language. -2026.-Vol.99: 101937. DOI 10.1016/j.csl.2026.101937.

16. Falih Gozi Febrinanto, Kristen Moore, Chandra Thapa,et.al. SIGNL: A label-efficient audio deepfake detection system via spectral-temporal graph non-contrastive learning. //Expert Systems with Applications. -2026.-Vol.307:131056. DOI 10.1016/j.eswa.2025.131056.

17. Rodrigo Colnago Contreras, Monique Simplicio Viana, Everthon Silva Fonseca, et.al.Exploring multicepstral features in a new classical machine learning-based framework for replay attack detection. //Computers and Electrical Engineering. -2025.-Vol.127(PB). DOI 10.1016/j.compeleceng.2025.110570.

18. Jingxi Xue, Sanshuai Cui, Weinan Zhang. Leveraging Neural Vocoder Artifacts for Improved Synthetic Speech Detection.2024 7th International Conference on Sensors, Signal and Image. //Processing (SSIP). -2024.-P.162-166. DOI 10.1145/3725949.3725971.

19. Burak Celik, Ayhan Akbal. A multi-level and iterative feature engineering framework for deepfake audio detection. //Expert Systems with Applications. -2026.-Vol.303:130722. DOI 10.1016/j.eswa.2025.130722.

20. Soyul Han, Jaejin Seo, Sunmook Choi, Taein Kang,et.al. Enhancing voice spoofing detection in noisy environments using frequency feature masking augmentation. //Engineering Science and Technology, an International Journal. -2025.-Vol.63: 101972. DOI 10.1016/j.jestch.2025.101972.

21. Hao Meng, Wei Ou, Ju Huang, Haozhe Liang,et.al. A robust unified spoofing audio detection scheme. Computers and Electrical Engineerin g.-2025.-Vol.122: 109974. DOI 10.1016/j.compeleceng.2024.109974.

22. Yuanfan Jin, Yongfang Wang. CMALDD-PTAF: Cross-modal adversarial learning for deepfake detection by leveraging pre-trained models and cross-attention fusion. //Image and Vision Computing. -2026.-Vol.166: 105885. DOI 10.1016/j.imavis.2025.105885.

23. Tianle Yang, Chengzhe Sun, Siwei Lyu, Phil Rose. Forensic deep-fake audio detection using segmental speech features. //Forensic Science International. -2026.-Vol.379:112768. DOI 10.1016/j.forsciint.2025.112768.

24. Arsalan Rahman Mirza, Abdulbasit K. Al-Talabani. Spoofing countermeasures for fake speech detection using brute force features. //Computer Speech & Language. -2025.-Vol.90:101732. DOI 10.1016/j.csl.2024.101732.

25. Gul Tahaoglu, Daniele Baracchi, Dasara Shullani, et.al. Deepfake audio detection with spectral

features and ResNeXt-based architecture. //Knowledge-Based Systems.2025; 323: 113726. DOI 10.1016/j.knosys.2025.113726.

26. Dengtai Tan, Boao Tan, Deyi Yang, Yang Yang, Chengyu Niu. Mutual-guidance framework for audio DeepFake detection via multi-dimensional feature interaction. //Neurocomputing. -2026. – Vol.672:132732. DOI 10.1016/j.neucom.2026.132732.

27. Gökay Dişken. Delta feature maps with application to spoofed speech detection. // Computers and Electrical Engineering. -2025.-Vol.128(PartB):110748. DOI 10.1016/j.compeleceng.2025.110748.

28. Роговой В., Коржук В. М., Александров Д. С. Метод выявления синтетической речи в цифровых аудиозаписях с использованием признаков речевой акустики. //Вестник УрФО. Безопасность в информационной сфере. -2025.-№.2(56). DOI 10.14529/secur250201.

29. Ariel Cohen, Denis Shyrman, Aleksandr Solonskyi, Roman Frenkel, et.al. Robust prosody modeling for synthetic speech detection. //Speech Communication. -2025.-Vol.174: 103283. DOI 10.1016/j.specom.2025.103283.

30. Hamed Al-Tairi, Ali Javed, Tasawer Khan,et.al. DeepLASD countermeasure for logical access audio spoofing. //Scientific Reports. -2025.-Vol.15:20839. DOI 10.1038/s41598-025-04808-5.

31. Xue Ouyang, Chunhui Wang, Bin Zhao, Hao Li. Adaptive reverse perturbation network for audio deepfake detection. //Neurocomputing. -2025.-Vol.658: 131466. DOI 10.1016/j.neucom.2025.131466.

32. Kaijun Mai, Chen Chen, Yuhongxu Feng, Ao Li, Liang Xi. Dual-level principal component fusion networks for synthetic speech detection. //Information Fusion. -2026.-Vol.127(PartA): 103738. DOI 10.1016/j.inffus.2025.103738.

33. Jagabandhu Mishra, Manasi Chhibber, Hye-jin Shim, Tomi H. Kinnunen. Towards explainable spoofed speech attribution and detection: A probabilistic approach for characterizing speech synthesizer components. //Computer Speech & Language. -2026.-Vol.95:101840. DOI 10.1016/j.csl.2025.101840.

References

1. Kuznecov A.Ju., Murtazint R.A., Garipov I.M., Fjodorov E.A., Holodenina A.V., Vorob’ eva A.A. Metody protivodejstvija atakam posredstvom sinteza rechi na golosovye biometricheskie sistemy v bankovskoj sfere. //Nauchno-tehnicheskij Vestnik. -2021.-T.21. № 1.- S.109-117. DOI 10.17586/2226-1494-2021-21-1-109-117. [in Russian]

2. Gueltoum Bendiab, Houda Haiouni, Isidoros Moulas, Stavros Shiaeles. Deepfakes in digital media forensics: Generation, AI-based detection and challenges. //Information Security and Applications. -2025.-Vol.88 103935. DOI 10.1016/j.jisa.2024.103935.

3. Khalid Zaman, Kai Li, Melike Sah, Cem Direkoglu, et.al. Transformers and audio detection tasks: An overview. //Digital Signal Processing. -2025.-Vol.158:104956. DOI 10.1016/j.dsp.2024.104956.

4. Qurat Ul Ain, Fatima Khalid, Hafsa Ilyas, Ali Javed, et.al. Adversarial and generative AI-based anti-forensics in audio-visual deepfake detection: A comprehensive review and analysis. //Information Fusion. -2026.-Vol.132: 104120. DOI 10.1016/j.inffus.2025.104120.

5. Xin Wang, Héctor Delgado, Hemlata Tak, Jee-weon Jung, Massimiliano Todisco, Ivan Kukanov, Xuechen Liu, Md Sahidullah, Tomi Kinnunen, Nicholas Evans, et.al. ASVspoof 5: Design, collection and validation of resources for spoofing, deepfake, and adversarial attack detection using crowdsourced speech. //Computer Speech & Language. -2026.-Vol.95:101825. DOI 10.1016/j.csl.2025.101825.

6. Buğra Eyidoğan, Gökberk Özsoy, Pedram Khatamino,et.al. Voice Liveness Detection KYC Project:

Distinguishing Genuine and Spoofed Voices Using Deep Learning. //Procedia Computer Science. -2025.-Vol.255.-P.63-72. DOI 10.1016/j.procs.2025.02.261.

7. Andreas Triantafyllopoulos, Anika A. Spiesberger, Iosif Tsangko, Xin Jing, et.al.Vishing: Detecting social engineering in spoken communication - A first survey & urgent roadmap to address an emerging societal challenge. //Computer Speech & Language. -2025.-Vol.94: 101802. DOI 10.1016/j.csl.2025.101802.

8. Awais Khan, Khalid Mahmood Malik. SpoTNet: A spoofing-aware Transformer Network for Effective Synthetic Speech Detection.2nd ACM International Workshop on Language. - AI against Disinformation. //History. -2023.-P.10-18. DOI 10.1145/3592572.3592841.

9. Şule Bekiryazıcı, Cemal Hanilçi, Neyir Ozcan. Toward robust replay attack detection in Automatic Speaker Verification: A study of spectrum estimation and channel magnitude response modeling. //Computer Speech & Language. -2026.-Vol.98:101906. DOI 10.1016/j.csl.2025.101906.

10. Arth J. Shah, Madhu R. Kamble. Leveraging Kolmogorov-Arnold networks for voice liveness detection in anti-spoofing systems. //Speech Communication. -2026.-Vol.178:103364. DOI 10.1016/j.specom.2026.103364.

11. Tingting Wang,Marvin Borsdorf, Qoquan Zhang, et.al. Going deeper with log-graph Fourier transform-based feature extraction for playback speech detection. //Applied Acoustics. -2026.-Vol.245:111212. DOI 10.1016/j.apacoust.2025.111212.

12. Jiahong Ye, Diqun Yan, Songyin Fu, Bin Ma, Zhihua Xia. One-class network leveraging spectro-temporal features for generalized synthetic speech detection. //Speech Communication. -2025.-Vol.169:103200. DOI 10.1016/j.specom.2025.103200.

13. Jingze Lu, Yuxiang Zhang, Zhuo Li,et.al. Leveraging distance information for generalized spoofing speech detection. //Computer Speech & Language. -2025.-Vol.94: 101804. DOI 10.1016/j.csl.2025.101804.

14. Zhenyu Wang, John H. L. Hansen. Toward Improving Synthetic Audio Spoofing Detection Robustness via Meta-Learning and Disentangled Training with Adversarial Examples. // IEEE Access. -2024.-Vol.12.-P. (99):1-1. DOI 10.1109/ACCESS.2024.3421281.

15. Jianqiang Zhang, Yushui Geng, Peng Zhang,et.al. One-class neural network with hybrid pooling on dual-band frequency for spoofing speech detection. //Computer Speech & Language. -2026.-Vol.99: 101937. DOI 10.1016/j.csl.2026.101937.

16. Falih Gozi Febrinanto, Kristen Moore, Chandra Thapa,et.al. SIGNL: A label-efficient audio deepfake detection system via spectral-temporal graph non-contrastive learning. //Expert Systems with Applications. -2026.-Vol.307:131056. DOI 10.1016/j.eswa.2025.131056.

17. Rodrigo Colnago Contreras, Monique Simplicio Viana, Everthon Silva Fonseca, et.al.Exploring multicepstral features in a new classical machine learning-based framework for replay attack detection. //Computers and Electrical Engineering. -2025.-Vol.127(PB). DOI 10.1016/j.compeleceng.2025.110570.

18. Jingxi Xue, Sanshuai Cui, Weinan Zhang. Leveraging Neural Vocoder Artifacts for Improved Synthetic Speech Detection.2024 7th International Conference on Sensors, Signal and Image. //Processing (SSIP). -2024.-P.162-166. DOI 10.1145/3725949.3725971.

19. Burak Celik, Ayhan Akbal. A multi-level and iterative feature engineering framework for deep-fake audio detection. //Expert Systems with Applications. -2026.-Vol.303:130722. DOI 10.1016/j.eswa.2025.130722.

20. Soyul Han, Jaejin Seo, Sunmook Choi, Taein Kang,et.al. Enhancing voice spoofing detection in noisy

environments using frequency feature masking augmentation. //Engineering Science and Technology, an International Journal. -2025.-Vol.63: 101972. DOI 10.1016/j.jestch.2025.101972.

21. Hao Meng, Wei Ou, Ju Huang, Haozhe Liang,et.al. A robust unified spoofing audio detection scheme. Computers and Electrical Engineerin g.-2025.-Vol.122: 109974. DOI 10.1016/j.compeleceng.2024.109974.

22. Yuanfan Jin, Yongfang Wang. CMALDD-PTAF: Cross-modal adversarial learning for deepfake detection by leveraging pre-trained models and cross-attention fusion. //Image and Vision Computing. -2026.-Vol.166: 105885. DOI 10.1016/j.imavis.2025.105885.

23. Tianle Yang, Chengzhe Sun, Siwei Lyu, Phil Rose. Forensic deep-fake audio detection using segmental speech features. //Forensic Science International. -2026.-Vol.379:112768. DOI 10.1016/j.forsciint.2025.112768.

24. Arsalan Rahman Mirza, Abdulbasit K. Al-Talabani. Spoofing countermeasures for fake speech detection using brute force features. //Computer Speech & Language. -2025.-Vol.90:101732. DOI 10.1016/j.csl.2024.101732.

25. Gul Tahaoglu, Daniele Baracchi, Dasara Shullani, et.al. Deepfake audio detection with spectral features and ResNeXt-based architecture. //Knowledge-Based Systems.2025; 323: 113726. DOI 10.1016/j.knosys.2025.113726.

26. Dengtai Tan, Boao Tan, Deyi Yang, Yang Yang, Chengyu Niu. Mutual-guidance framework for audio DeepFake detection via multi-dimensional feature interaction. //Neurocomputing. -2026. – Vol.672:132732. DOI 10.1016/j.neucom.2026.132732.

27. Gökay Dişken. Delta feature maps with application to spoofed speech detection. // Computers and Electrical Engineering. -2025.-Vol.128(PartB):110748. DOI 10.1016/j.compeleceng.2025.110748.

28. Rogovoj V., Korzhuk V. M., Aleksandrov D. S. Metod vyjavlenija sinteticheskoj rechi v cifrovyh audiozapisjah s ispol’ zovaniem priznakov rechevoj akustiki. //Vestnik UrFO. Bezopasnost’ v informacionnoj sfere. -2025.-№. 2(56). DOI 10.14529/secur250201. [in Russian]

29. Ariel Cohen, Denis Shyrman, Aleksandr Solonskyi, Roman Frenkel, et.al. Robust prosody modeling for synthetic speech detection. //Speech Communication. -2025.-Vol.174: 103283. DOI 10.1016/j.specom.2025.103283.

30. Hamed Al-Tairi, Ali Javed, Tasawer Khan,et.al. DeepLASD countermeasure for logical access audio spoofing. //Scientific Reports. -2025.-Vol.15:20839. DOI 10.1038/s41598-025-04808-5.

31. Xue Ouyang, Chunhui Wang, Bin Zhao, Hao Li. Adaptive reverse perturbation network for audio deepfake detection. //Neurocomputing. -2025.-Vol.658: 131466. DOI 10.1016/j.neucom.2025.131466.

32. Kaijun Mai, Chen Chen, Yuhongxu Feng, Ao Li, Liang Xi. Dual-level principal component fusion networks for synthetic speech detection. //Information Fusion. -2026.-Vol.127(PartA): 103738. DOI 10.1016/j.inffus.2025.103738.

33. Jagabandhu Mishra, Manasi Chhibber, Hye-jin Shim, Tomi H. Kinnunen. Towards explainable spoofed speech attribution and detection: A probabilistic approach for characterizing speech synthesizer components. //Computer Speech & Language. -2026.-Vol.95:101840. DOI 10.1016/j.csl.2025.101840.

Сведения об авторах

Ержан Ә.Е.- докторант, НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И.Сатбаева», Алматы, Казахстан, e-mail: a.yerzhan@satbayev.university;

Ахмедиярова А. Т.- PhD, ассоциированный профессор, НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И.Сатбаева», Алматы, Казахстан, e-mail: a.akhmediyarova@satbayev.university;

Алимсеитова Ж.К.- PhD, профессор, НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И.Сатбаева», г Алматы, Казахстан, e-mail: a.akhmediyarova@satbayev.university.

Information about the authors

Yerzhan A.-doctoral student, K.I. Satbayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: a.yerzhan@satbayev.university;

Akhmediyarova A.-Ph.D., associate professor, K.I. Satbayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: a.akhmediyarova@satbayev.university;

Alimseitova Zh.-Ph.D., professor, K.I. Satbayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: a.akhmediyarova@satbayev.university.

МРНТИ 50.43.19, 55.42.19 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1378**

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФЛОТАЦИИ НА ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКЕ

[1]К. Акишев✉, [2]А. Подвалов, [1]А. Зейнуллин, [1]Е. Айбульдинов, [1]М. Оспанова✉, [2]А. Нурмаганбетов, [2]М. Чагай, [2]М. Айтиева, [2]С. Хусаинова, [3]Н. Токтар

[1]Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
[2]ТОО AG Tech, Астана, Казахстан,
[3]Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан

✉ *Корреспондент-автор: akmail04cx@mail.ru, ospanova_madi_59@mail.ru*

В статье представлена разработка программно-аппаратного комплекса (ПАК) для интеллектуального управления процессом флотации на обогатительной фабрике для условий изменчивости свойств рудного сырья и нестандартности технологических режимов. Актуальность исследования обусловлена прежде всего, что используемые в настоящее время традиционные системы регулирования на обогатительных предприятиях, не обеспечивают эффективное поддержание оптимальных параметров флотации при изменениях гранулометрического и химического состава пульпы, включая энергоэффективность и экологическую безопасность производства.

Целью исследования, является разработка архитектуры ПАК, сочетающей машинное зрение, мультисенсорный мониторинг, гибридные модели искусственного интеллекта, обеспечивающие поддержку и автоматизацию принятия управляющих решений. Объектом исследования является технологический контур флотации Нурказганской обогатительной фабрики. В работе применены методы компьютерного зрения, глубокого машинное обучения (CNN, LSTM, Temporal Transformer), нейросети (PINNs) и методы многокритериальной оптимизации режимов.

Качественные результаты заключаются в переходе от ограниченного мониторинга к интегрированному цифровому контуру управления, с возможностями учёта временной динамики процесса, применимости к изменению свойств руды, интеграции с действующими системами АСУ-ТП и SCADA. Количественные оценки по данным предпроектного обследования и моделирования испытаний, создают предпосылки по снижению аварийных остановок оборудования до 10-15 %, сокращение простоев до 15%, уменьшение расхода реагентов на 5–10 %, повышение извлечения полезных компонентов от 1–3 %.

Практическая значимость исследования заключается в возможности внедрения и масштабирования разработанной ПАК на других предприятиях горнометаллургического комплекса Республики Казахстан.

Ключевые слова: флотация, программно-аппаратный комплекс, интеллектуальное управление, машинное зрение, мультисенсорный мониторинг, гибридные модели ИИ, предиктивная аналитика

БАЙЫТУ ФАБРИКАСЫНДА ФЛОТАЦИЯ ПРОЦЕСІН БАСҚАРУДЫҢ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ-АППАРАТТЫҚ КЕШЕНІН ӘЗІРЛЕУ

[1]К. Акишев✉, [2]А. Подвалов, [2]А. Зейнуллин, [1]Е. Айбульдинов, [1]М. Оспанова✉, [2]А. Нұрмағанбетов, [2]М. Чагай, [2]М. Айтиева, [2]С. Хусаинова, [3]Н. Токтар

[1]Қ.Құлажанова ат. Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[2]AG Tech ЖШС, Астана, Қазақстан,
[3]Торайгыров университеті, Павлодар, Қазақстан,
e-mail: akmail04cx@mail.ru, ospanova_madi_59@mail.ru

Мақалада кен шикізаты қасиеттерінің өзгергіштігі және технологиялық режимдердің стандарттылығы жағдайлары үшін байыту фабрикасында флотация процесін интеллектуалды басқаруға

арналған бағдарламалық-аппараттық кешенді (ПАК) әзірлеу ұсынылған. Зерттеудің өзектілігі, ең алдымен, байыту кәсіпорындарында қолданылатын дәстүрлі реттеу жүйелері целлюлозаның гранулометриялық және химиялық құрамындағы өзгерістер, соның ішінде энергия тиімділігі мен өндірістің экологиялық қауіпсіздігі кезінде флотацияның оңтайлы параметрлерін тиімді сақтауды қамтамасыз етпейтіндігіне байланысты.

Зерттеудің мақсаты-басқару шешімдерін қабылдауды қолдау мен автоматтандыруды қамтамасыз ететін машиналық көруді, мультисенсорлық бақылауды, жасанды интеллекттің гибридті модельдерін біріктіретін ПАК архитектурасын әзірлеу. Зерттеу нысаны Нұрқазған байыту фабрикасының флотациясының технологиялық контуры болып табылады. Жұмыста компьютерлік көру әдістері, терең Машиналық оқыту (CNN, LSTM, Temporal Transformer), нейрондық желі (pinns) және режимдерді көп критериалды оңтайландыру әдістері қолданылады.

Сапалық нәтижелер шектеулі мониторингтен процестің уақытша динамикасын есепке алу мүмкіндіктерімен, кендердің қасиеттерін өзгертуге, қолданыстағы АБЖ-ТП және SCADA жүйелерімен интеграциялауға мүмкіндік беретін интеграцияланған цифрлық басқару тізбегіне көшуден тұрады. Жобалау алдындағы тексеру және сынақтарды модельдеу деректері бойынша сандық бағалау жабдықтың авариялық тоқтауын 10-15% - ға дейін төмендету, тоқтап қалуды 15% - ға дейін қысқарту, реагенттер шығынын 5-10% - ға азайту, пайдалы компоненттерді алуды 1-3% - дан арттыру жөнінде алғышарттар жасайды.

Зерттеудің практикалық маңыздылығы Қазақстан Республикасының тау-кен-металлургия кешенінің басқа кәсіпорындарында әзірленген ПАК енгізу және масштабтау мүмкіндігінде жатыр.

Түйін сөздер: флотация, бағдарламалық-аппараттық кешен, интеллектуалды басқару, машиналық көру, мультисенсорлық мониторинг, гибридті аі модельдері, болжамды аналитика.

DEVELOPMENT OF A HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR CONTROLLING THE FLOTATION PROCESS AT A PROCESSING PLANT

[1]K. Akishev✉, [2]A. Podvalov, [1]A. Zeynullin, [1]Y. Aibuldinov, [1]M. Ospanova✉, [2]A. Nurmaganbetov, [2]M. Chagay, [2]M. Aitiyeva, [2]S. Khussainova [3]N. Toktar

[1]K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
[2]AG Tech LLP, Astana, Kazakhstan,
[3]Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan,
e-mail: akmail04cx@mail.ru, ospanova_madi_59@mail.ru

The article presents the development of a software and hardware complex (PAK) for intelligent control of the flotation process at a processing plant for conditions of variability in the properties of ore raw materials and non-standard technological modes. The relevance of the study is primarily due to the fact that the currently used traditional control systems at processing plants do not effectively maintain optimal flotation parameters with changes in the granulometric and chemical composition of the pulp, including energy efficiency and environmental safety of production.

The purpose of the research is to develop a management system architecture that combines machine vision, multisensory monitoring, and hybrid artificial intelligence models that support and automate management decision-making. The object of the study is the technological contour of the flotation of the Nurkazgan processing plant. The work uses methods of computer vision, deep machine learning (CNN, LSTM, Temporal Transformer), neural networks (PINNs) and methods of multi-criteria mode optimization.

The qualitative results consist in the transition from limited monitoring to an integrated digital control loop, with the ability to take into account the temporal dynamics of the process, applicability to changes in ore properties, integration with existing automated process control systems and SCADA. Quantitative estimates based on data from the pre-design survey and test modeling create prerequisites for reducing

equipment failures by up to 10-15%, reducing downtime by up to 15%, reducing reagent consumption by 5-10%, and increasing the extraction of useful components from 1-3%.

The practical significance of the research lies in the possibility of implementing and scaling the developed PAK at other enterprises of the mining and metallurgical complex of the Republic of Kazakhstan.

Keywords: flotation, hardware and software complex, intelligent control, machine vision, multisensory monitoring, hybrid AI models, predictive analytics.

Введение. Горно-обогатительная промышленность является одной из ключевых отраслей экономики Республики Казахстан с наиболее ресурсоёмких и технологически сложных сфер. Процесс флотации в процессе переработки руды, относится к наиболее энергоёмким и чувствительным к изменениям, к которым относится: эффективность разделения определяется множеством взаимосвязанных факторов — минералогическим составом, гранулометрией, химическим составом пульпы, режимом аэрации, гидродинамикой, дозированием реагентов и характеристиками пены.

В связи изменчивостью свойств сырья и износа технологического оборудования, используемые контуры регулирования (ПИД и каскадные регуляторы) не учитывают в полном объеме нелинейность и нестандартность процесса, а это прежде всего приводит к изменениям объема извлечения и перерасходу реагентов. Современные требования предъявляемые к устойчивости производства, энергоэффективности, экологическим показателям, устанавливают возможность перехода к интеллектуальным системам управления, опирающихся на данные и гибридные модели [1–3].

Предпроектное обследование на Нурказганской обогатительной фабрике показало, что аварийные остановки и потери, связанные с временем простоя, формирует прямую экономическую мотивацию к внедрению предиктивной диагностики и интеллектуального управления на всех этапах технологического процесса обогащения руды (рис.1).

В этой связи разработка программно-аппаратного комплекса (ПАК), сочетающего машинное зрение, сенсорные системы, ИИ алгоритмы, является практико-ориентированным путём повышения, как технологической устойчивости, так и эффективности флотации.

Целью настоящего исследования подготовка архитектуры ПАК, сочетающей машинное зрение, мультисенсорный мониторинг, гибридные модели искусственного интеллекта, обеспечивающие поддержку, автоматизацию принятия управляющих решений процессом флотации с возможностью промышленного внедрения на других предприятиях горнометаллургического комплекса Республики Казахстан.

На горнообогатительных предприятиях процесс флотации является одним из важных этапов обогащения руды, который определяет качество конечного концентрата, а также эффективность технологической схемы переработки руды. Процесс флотации процесса обусловлен множеством взаимосвязанных физико-химических и гидродинамических факторов-это минералогический состав, гранулометрия руды, свойства пульпы, режим аэрации, характеристики пузырьков и пенного слоя, особенности реагентных взаимодействий. Нелинейность и нестандартность приведенных факторов, затрудняют использование традиционных методов регулирования и требуют гибких и адаптивных подходов к управлению технологическим процессом флотации.

В настоящее время на большинстве горнометаллургических предприятий, управление процессом флотации основывалось на локальных ПИД-регуляторах и правилах, опирающихся только на профессиональный и практический опыт технического персонала. формируемых на основе опыта технологического персонала. Рост производственных мощностей, высокие стандарты связанные с повышением качества управления, изменения характеристик перерабатываемого сырья, требуют перехода к системам, обеспечивающим оптимального управления. В на-

стоящее время, достаточно широко внедряются методы расширенного управления процессами (APC), экономически ориентированного управления (Economic MPC), а также цифровых двойников промышленных объектов.



Рис.1 - Нурказганская обогатительная фабрика

Развитие автоматики, промышленной электроники, приборов контроля и измерения, стимулирует активное внедрение систем машинного зрения, онлайн-анализаторов состава, интеллектуальных датчиков на основе (IoT-технологий), позволяет расширить количество и объём данных по текущему состоянию процесса флотации, построения софт-сенсоров качества, предиктивных моделей, адаптивных алгоритмов оптимизации реагентных режимов.

В последние годы, как в Республике Казахстан, так и за рубежом, наблюдается рост научных исследований, связанных с применением методов машинного обучения, глубоких нейронных сетей, обучения с подкреплением, гибридных физически информированных моделей для анализа и управления процессом флотации. В проводимых исследованиях акцент смещается от изолированных алгоритмов обработки изображений, регрессионных моделей к комплексным программно-аппаратным системам, с возможностью внедрения в контуры АСУ ТП предприятия.

В этой связи систематизация подходов по разработке модулей программно-аппаратных комплексов, функциям (измерения, анализа данных, оптимальное управление, валидация) - позволяет определить тенденции, перспективные направления развития интеллектуальных систем управления флотационными процессами, логику современных исследований.

В научных исследованиях управлением процессом флотации, доминируют направления: анализа изображений пены, soft-сенсоры качества, предиктивное управление (MPC/EMPC), обучение с подкреплением (RL), цифровые

двойники.

Для казахстанских предприятий на сегодняшний день остается проблемой, недостаточная интеграция ИИ-моделей в реальные контуры АСУ-ТП, ограниченность данных промышленного уровня. В этой связи актуальна разработка ПАК, ориентированного на внедрение и масштабирование.

Современные исследования зарубежных и казахстанских ученых, показывают, что надежное управление флотацией требует интеграции источников данных получаемых от: технологических датчиков, систем машинного зрения, лабораторных анализов.

Публикации [1,2], доказали? что видеопотоки являются наиболее информативным онлайн-индикатором состояния пенного слоя, тогда как химические анализы используются для калибровки и валидации моделей. При этом подчеркивается необходимость синхронизации данных во времени, компенсации задержек измерений, в это критично для построения корректных софт-сенсоров качества [3].

Работы [4,5] основывались на ручных признаках (размер пузырьков, цвет, текстура), но современные исследования переходят к глубоким сверхточным сетям для сегментации и извлечения признаков из изображений пены. Достоверно, что архитектуры U-Net++ и подобные обеспечивают устойчивое выделение границ пузырьков и оценку скорости движения пены [5].

Исследование [6] демонстрируют эффективность Vision Transformer, attention-механизмов для повышения обобщающей способности моделей и интерпретируемости результатов.

Построение софт-сенсоров для прогнозирования извлечения и качества концентрата на основе операционных и визуальных параметров, включение физико-химических характеристик пульпы, свойств пены повышает точность прогнозирования по сравнению с моделями, использующими только технологические переменные отмечено в [5], а преимущество временных моделей (LSTM, Temporal CNN) для учета динамики процесса исследовано в работе [6].

Традиционные регрессионные модели дозирования реагентов, описанные в работе [7] заменяются методами, учитывающими структурные связи между элементами флотационного контура, в частности графовыми нейронными сетями, позволяющими оптимизировать дозирование реагентов в многокамерных каскадах флотации. Эти модели позволяют учитывать пространственные и временные зависимости между камерами, что важно при изменении свойств и характеристик руды.

В исследованиях [8,9] для замыкания контура управления применялись методы reinforcement learning и model predictive control, что позволяет автоматизировать настройки управляющих воздействий с учетом прогноза состояния процесса.

Гибридные подходы, сочетающие физические модели, обучение с подкреплением, повышают устойчивость управления при смене режимов и типов руды, показаны в работе [10].

Общие тенденции и направления дальнейших исследований.

Анализ литературы позволяет выделить следующие устойчивые тенденции характерные для управления процессом флотации:

- мультисенсорное слияние данных (видео + датчики + лаборатория) [1,2,3];

- развитие глубоких attention-моделей для повышения точности и интерпретируемости [6,2];

- применение графовых, временных моделей для оптимизации реагентных режимов [7];

- интеграция ИИ в контуры Economic MPC, гибридного управления [4, 5];

- изменение фокуса исследований от лабораторных экспериментов к промышленной валидации и устойчивости моделей к изменению условий [9, 11].

Современные научные исследования управления процессом флотации показывает переход от локальных методов мониторинга к комплексным интеллектуальным системам, с возможностью внедрения в контуры АСУ- ТП предприятия.

Большое внимание уделяется машинному зре-

нию для анализа пенного слоя, построению софт-сенсоров качества, применению временных моделей для прогнозирования технологических показателей. В то же время одним из перспективных направлений управления процессом флотации, является мультисенсорное слияние данных, которое объединяет видеопотоки и технологические параметры, повышающее устойчивость моделей к изменению свойств и характеристик руды, развитие методов оптимизации реагентных режимов, экономически ориентированного управления с использованием гибридных физико-информированных моделей. Существуют ограничения, которые связаны с промышленными датасетами, изменениями условий переработки, интерпретируемостью сложных моделей, ограниченностью промышленной валидации в контуре управления.

Все указанные выше факторы, формируют научную и практическую среду для разработки программно-аппаратных комплексов интеллектуального управления флотацией, ориентированных на промышленное внедрение и масштабирование.

Материалы и методы. Объектом исследования является технологический контур флотации Нурказганской обогатительной фабрики, включающий флотационные машины, реагентное хозяйство, систему аэрации и контуры регулирования уровня пульпы. Процесс характеризуется высокой динамичностью и нелинейными зависимостями между входными параметрами и показателями качества концентрата.

Программно-аппаратный комплекс (ПАК) реализован как многоуровневая распределённая система:

- (1) уровень технологического объекта;

- (2) уровень датчиков и исполнительных механизмов;

- (3) уровень локального управления (PLC);

- (4) серверный уровень агрегации и аналитики;

- (5) уровень оператора (АРМ).

Связь между уровнями осуществляется по промышленным протоколам OPC UA и TCP/IP.

Система компьютерного зрения реализована на базе IP-камер промышленного исполнения, установленных над флотационными камерами для наблюдения за поверхностью пены. Сервер выполняет сбор потоковых данных, хранение и инференс нейросетевых моделей. Предусмотрено резервирование питания и сетевых каналов.

Программное обеспечение (ПО) ПАК включает модули:

- модуль первичного сбора данных;

- модуль синхронизации и фильтрации сигналов;

- модуль компьютерного зрения;

- модуль предиктивной аналитики;

- модуль оптимизации режимов;

- интерфейс оператора.

Для анализа изображений пены использованы сверточные нейронные сети (CNN) (сегментации, извлечение визуальных признаков).

Для прогнозирования временной динамики параметров применяются LSTM и Temporal Transformer модели, для повышения устойчивости прогнозов к изменениям условий используется концепция физически информированных нейросетей (PINNs), которые учитывают законы сохранения массы и кинетику флотации.

Результаты предиктивных моделей применяются:

- для формирования рекомендаций;

- установки регуляторов по расходу воздуха;

- дозам реагентов;

- уровню пульпы.

Возможны два режима: рекомендательный (оператор подтверждает решения) и автоматический (на основе промышленного контроллера).

Интеграция ПАК в существующие АСУ ТП может реализоваться через сервер верхнего уровня и OPC-интерфейсы, обеспечивающие двусторонний обмен данными между PLC, SCADA и аналитическими модулями ПАК, архитектура позволяет внедрять интеллектуаль-

ные алгоритмы без изменения базовых контуров регулирования и соответствует требованиям промышленной безопасности.

Обсуждение и результаты. Модульная структура ПАК позволяет связать визуальные и технологические данные, что принципиально отличает систему от изолированных решений машинного зрения. Интеграция временных моделей обеспечивает учёт динамики процесса, что важно при колебаниях состава и характеристик руды.

С точки зрения промышленной значимости разработка ориентирована на снижение аварийных остановок, стабилизацию технологических режимов и сокращение расхода реагентов. Экономический эффект ожидается за счёт повышения извлечения и уменьшения потерь металла в хвостах.

На представленном рис.2 показана архитектура сбора, передачи и обработки данных в составе программно-аппаратного комплекса мониторинга и аналитики технологического процесса, интегрированного в систему автоматизированного управления предприятием. В качестве первичного источника информации используется уровнемер УЛМ-3D-64, предназначенный для непрерывного измерения уровня и распределения рудного материала в технологических емкостях и бункерах. Датчик формирует цифровые сигналы измерений и передает их по промышленному протоколу Modbus RTU через интерфейс RS-485, что обеспечивает устойчивую связь в условиях промышленной среды и электромагнитных помех.

Данные от уровнемера поступают на промышленную вычислительную платформу (ПЭВМ), выполняющую функции сервера сбора и предварительной обработки информации. На этом уровне функционирует OPC-сервер Limaco OPC Server, обеспечивающая преобразование протоколов и унифицированный доступ прикладных программ к данным измерений.

Использование OPC-интерфейса позволяет стандартизировать обмен данными и обеспечить совместимость ПАК с существующими системами SCADA и другими компонентами АСУ ТП предприятия.

Прикладное программное обеспечение аналитики рудного материала, реализует алгоритмы обработки временных рядов, фильтрации сигналов, анализа распределения материала и выявления отклонений технологических режимов. В рамках этого модуля могут применяться методы статистического анализа, машинного обучения и предиктивной диагностики, направленные на раннее выявление опасных состояний, таких как неравномерная загрузка, зависание материала или приближение к аварийным режимам.

Результаты обработки данных сохраняются в базе данных, предназначенной для долговременного хранения исторических параметров, формирования отчетности и последующего обучения интеллектуальных моделей. Наличие централизованного хранилища обеспечивает возможность ретроспективного анализа, построения трендов и интеграции данных с другими производственными подсистемами, включая LIMS и MES.

Параллельно реализован пользовательский интерфейс (UI), обеспечивающий визуализацию текущего состояния технологического объекта, отображение карт распределения материала, тревожных сигналов и рекомендаций оператору. Интерфейс ориентирован на использование технологическим персоналом и может быть интегрирован в существующую SCADA-систему или функционировать как отдельное рабочее место оператора ПАК. Дополнительно предусмотрен модуль удаленного доступа, обеспечивающий возможность дистанционного мониторинга состояния системы, диагностики оборудования и обновления программных компонентов. Это особенно важно для сопровождения промышленной эксплуатации, оперативного реагирования на неисправности и централизованного управления несколькими объектами.

Представленная архитектура демонстрирует принцип надстройки интеллектуального уровня над существующей АСУ- ТП, обеспечивая внедрение аналитических и предиктивных функций без необходимости изменения базовых контуров

управления, что существенно снижает риски и затраты при промышленном внедрении.

На рис.3 представлена архитектура программно-аппаратного комплекса мониторинга и аналитики технологического процесса, построенная по принципу многоуровневого разделения функций между измерительным, системным и прикладным уровнями. Архитектура ориентирована на интеграцию интеллектуальных модулей в существующую АСУ ТП без изменения базовых контуров управления.



Рис.2 - Структурная схема ПАК управления процессом флотации

На нижнем уровне располагаются измерительные устройства, в частности уровнемер, выполняющий непрерывный контроль распределения и уровня рудного материала. Измерения передаются в системное программное обеспечение Limaco OPC Server по промышленным протоколам, что обеспечивает надежный сбор данных в условиях промышленной эксплуатации и унифицированный доступ к параметрам для вышестоящих уровней системы.

Системный уровень реализует функции агрегации и маршрутизации данных, выполняя роль промежуточного слоя между оборудованием и прикладными сервисами. Использование OPC-сервера позволяет абстрагироваться от конкретных типов датчиков и протоколов, обеспечивая масштабируемость архитектуры и возможность подключения дополнительных источников данных без модификации прикладных алгоритмов.

На прикладном уровне размещён модуль детекции остатков рудного материала, реализующий алгоритмы обработки измерений, формирования карт распределения материала и выявления отклонений технологических режимов. Этот модуль выполняет основную аналитическую функцию ПАК и может включать как де-

терминированные методы обработки сигналов, так и элементы машинного обучения и предиктивной аналитики.

Результаты обработки данных сохраняются в централизованном хранилище, обеспечивающем накопление исторической информации, поддержку аналитических отчётов и возможность последующего обучения интеллектуальных моделей. Параллельно данные передаются в пользовательский интерфейс, предназначенный для визуализации состояния технологического объекта, отображения тревожных сигналов и поддержки принятия решений оператором.

Архитектура предусматривает логическое разделение каналов сбора данных, аналитики и визуализации, что повышает устойчивость системы и упрощает сопровождение. В случае отказа прикладных модулей базовый уровень измерений и системного ПО, продолжает функционировать, что соответствует требованиям промышленной надежности.

Разработанная в рамках исследования архитектура реализует принцип надстройки интеллектуального уровня над действующей АСУ ТП, создавая основу для внедрения предиктивных функций и дальнейшего развития цифрового контура управления технологическим процессом.

На рис.4 представлена схема установки камер машинного зрения над флотационными машинами для мониторинга поверхности пены. Камеры закреплены на жёсткой металлической раме и ориентированы под оптимальным углом обзора, обеспечивающим захват зоны максимальной информативности пенного слоя. Передача видеопотоков осуществляется в промышленный ПЛК/сервер по проводным каналам связи для последующей обработки алгоритмами компьютерного зрения и предиктивной аналитики.

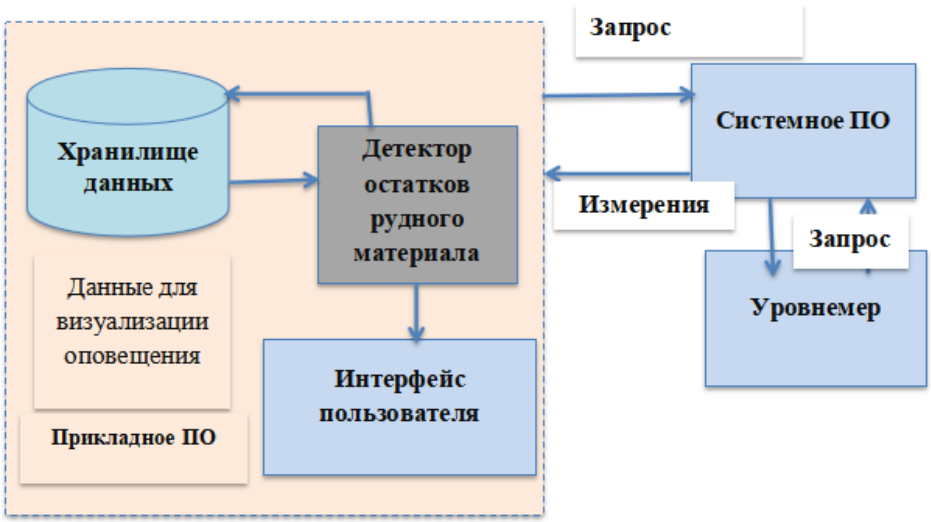


Рис.3 - Архитектура программных модулей ПАК «Флотация»

С учётом высокой запылённости и влажности производственной среды предусмотрено использование герметичных корпусов камер со степенью защиты не ниже IP66, а также защитных стекол с антиадгезионным покрытием. Для поддержания стабильного качества изображений может применяться система воздушной продувки (air-purge), предотвращающая оседание пыли и брызг пульпы на оптические поверхности.

Дополнительно возможна установка автоматических очистителей защитных экранов и организация регламентного обслуживания, включающего контроль загрязнения и калибровку камер, что обеспечивает устойчивую работу системы в длительном промышленном режиме.

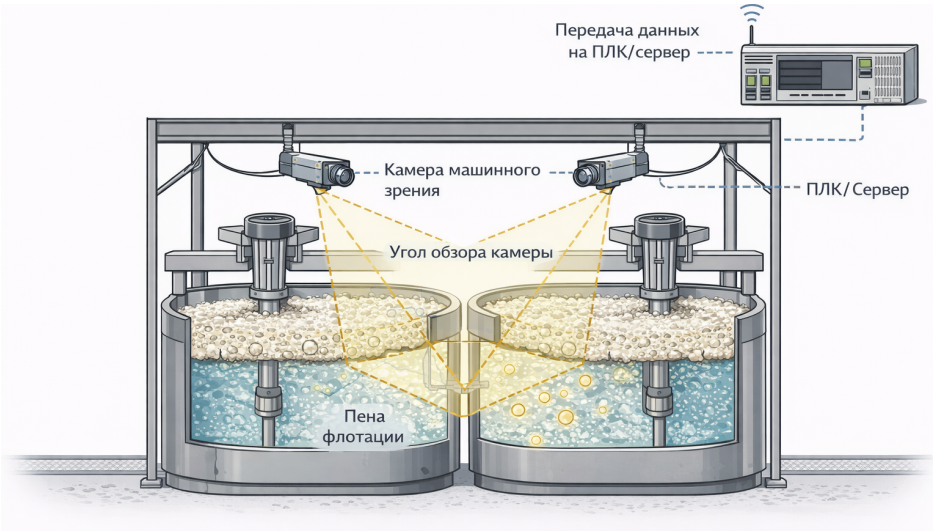


Рис.4 - Схема установки камер машинного зрения над флотационными машинами

На рис.5 представлен циклический алгоритм обновления карты состояний технологического процесса, используемый в программно-аппаратном комплексе управления флотацией. Работа алгоритма начинается с этапа ожидания заданного интервала времени *N*, который определяет период дискретизации и синхронизацию с частотой поступления данных от датчиков и систем машинного зрения. Такой подход обеспечивает стабильную работу системы и предотвращает перегрузку вычислительных модулей.

На следующем этапе выполняется получение измерений за интервал *M*, включающих значения технологических параметров (уровень пульпы, расход воздуха, дозирование реагентов, плотность) и вычисленные визуальные признаки, полученные из видеопотоков. Затем осуществляется загрузка последней сохранённой карты состояний, содержащей агрегированную информацию о предыдущем состоянии процесса и служащей основой для отслеживания динамики изменений.

Этап обновления карты состояний заключается в интеграции новых измерений с историческими данными, применении фильтрации и расчёте производных показателей, характеризующих устойчивость и отклонения режима флотации. Обновлённая карта состояний сохраняется в базе данных или оперативной памяти и используется как вход для модулей предиктивной аналитики и оптимизации управляющих воздействий.

Таким образом, схема реализует механизм непрерывного накопления и актуализации информации о процессе, что обеспечивает адаптивность интеллектуального управления и позволяет учитывать временную динамику технологических параметров при формировании управляющих решений.



Рис.5 - Поток данных: от сенсоров и видео к модулям предиктивной аналитики

Алгоритм автоматизированного управления процессом флотации рис.6 реализует замкнутый цикл интеллектуального регулирования на основе интеграции данных от технологических сенсоров, систем машинного зрения и анализаторов состава руды. На этапе сбора данных осуществляется непрерывный поток информации от датчиков pH, плотности, расхода потоков, а также видеопотоки с камер машинного зрения и данные онлайн-анализаторов химического состава. Все измерения синхронизируются по времени и проходят первичную фильтрацию для подавления шумов и исключения выбросов.

Далее данные поступают в модуль анализа и предсказания, где выполняется предобработка, нормализация и формирование объединённого вектора признаков. Для оценки состояния процесса и прогнозирования показателей качества используются модели искусственного интеллекта, включая искусственные нейронные сети (ANN), случайный лес (RF) и градиентный бустинг (GBM), а также временные модели для учета динамики технологических параметров. На этом этапе формируется прогноз извлечения металлов и содержания концентрата.

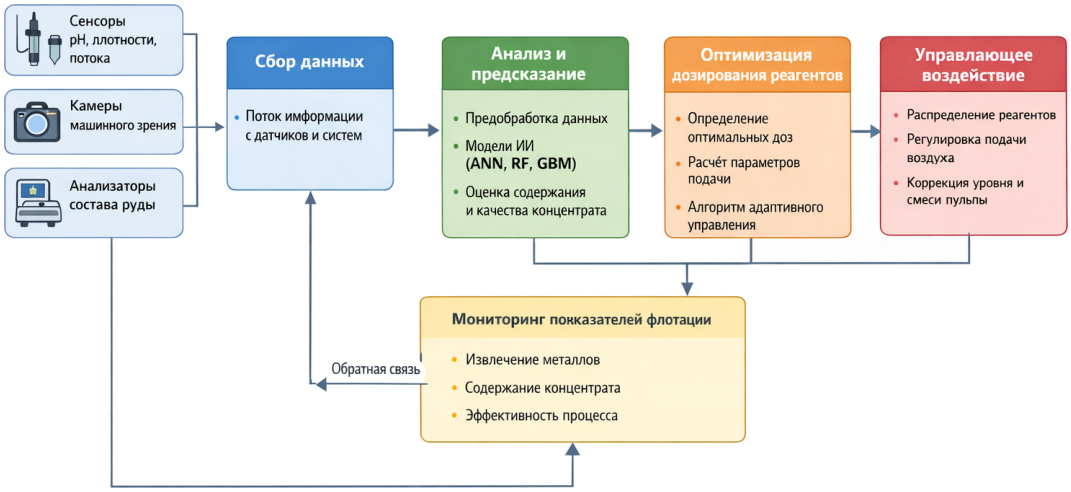


Рис.6 - Алгоритм автоматизированного управления процессом флотации

Результаты прогнозирования передаются в модуль оптимизации дозирования реагентов, в котором реализован алгоритм адаптивного управления с многокритериальной функцией цели. Оптимизация направлена на максимизацию извлечения полезных компонентов при одновременном снижении расхода реагентов и стабилизации уровня пульпы и аэрации. На основе текущих и прогнозных значений рассчитываются оптимальные установки для дозаторов реагентов и системы подачи воздуха.

Модуль управляющего воздействия передает сформированные установки в контуры АСУ ТП, обеспечивая регулирование подачи воздуха, распределения реагентов и корректировку уровня и состава пульпы во флотационных машинах. Управляющие воздействия могут передаваться в рекомендательном или уавтоматическом режиме, что позволяет поэтапно внедрять интеллектуальное управление с сохранением контроля со стороны оператора.

На этапе мониторинга показателей флотации осуществляется оценка достигнутых результатов по ключевым показателям эффективности, включая извлечение металлов, содержание концентрата и общую эффективность процесса. Эти данные формируют канал обратной связи, который используется для коррекции моделей и адаптации параметров алгоритма, обеспечивая устойчивость управления при изменении свойств руды и внешних возмущениях. Таким образом, алгоритм реализует непрерывный

цикл адаптивного интеллектуального управления флотационным процессом.

Научная новизна настоящего исследования заключается в разработке и апробации программно-аппаратного комплекса управлением процессом флотации, основанного на интеграции машинного зрения, мультисенсорного мониторинга и гибридных интеллектуальных моделей в замкнутом контуре управления обогатительной фабрики.

В отличие от существующих решений, ориентированных преимущественно на анализ изображений флотационной пены или на отдельные soft-сенсоры технологических параметров, в данной работе предложена архитектура ПАК, обеспечивающая слияние разнородных потоков данных (видеопотоки, технологические датчики, параметры реагентного хозяйства) в едином пространстве признаков с учетом временной динамики процесса.

Выводы. Разработка программно-аппаратного комплекса управления процессом флотации подтверждает целесообразность перехода от существующих локальных контуров регулирования к интеллектуальным системам управления, объединяющим машинное зрение, мультисенсорный мониторинг и гибридные модели искусственного интеллекта.

В рамках выполненных исследований разработана многоуровневая архитектура ПАК, обеспечивающая интеграцию видеопотоков и технологических параметров в единый цифровой контур, реализованы модули предиктивной аналитики и оптимизации режимов, а также обеспечена совместимость с действующими системами АСУ- ТП и SCADA без необходимости их полной модернизации

Качественные результаты исследования выражаются в повышении информативности мониторинга, переходе к учету временной динамики процесса и формировании основы для внедрения цифрового двойника флотационного контура. Количественные оценки, полученные на этапе предпроектного анализа и модельных испытаний, свидетельствуют о потенциальном снижении аварийных остановок оборудования на 10–15 %, уменьшении простоев, снижении удельного расхода реагентов на 5–10 % и росте извлечения полезных компонентов на 1–3 % за счет стабилизации технологических режимов.

Практическая значимость разработки заключается в возможности поэтапного внедрения ПАК в промышленную эксплуатацию, масштабируемости архитектуры и адаптации алгоритмов под различные типы руд и конфигурации флотационных машин, что делает предложенное решение применимым для широкого круга горно-обогатительных предприятий Республики Казахстан.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на формирование промышленного репрезентативного датасета, внедрение интерпретируемых моделей (SHAP, attention-механизмы) для повышения доверия технологического персонала к рекомендациям ИИ, а также на развитие мульти объективной оптимизации с учетом энергетических, экологических и экономических показателей. Перспективным направлением является расширение цифрового контура управления на смежные стадии переработки - измельчение, сгущение и обезвоживание, с формированием полноценного цифрового двойника обогатительной фабрики.

Финансирование. *Исследования, представленные в настоящей статье выполнены в рамках ПЦФ BR28713037 «Разработка программно-аппаратного комплекса на базе технологий искусственного интеллекта для управления процессом флотации на горно-обогатительном предприятии».*

Литература

1. Wen Z., Zhou Ch., Pan J., Nie T., Zhou Ch. Deep learning-based ash content prediction of coal flotation concentrate using convolutional neural network//Minerals Engineering. -2021. -Vol.174:107251. DOI 10.1016/j.mineng.2021.107251.

2. Aldrich C., Liu X. Monitoring of Flotation Systems by Use of Multivariate Froth Image Analysis // Minerals. -2021. -Vol.11(7): 683. DOI 10.3390/min11070683.

3. Liu X., Aldrich C. Multivariate image processing in minerals engineering with vision transformers/Minerals Engineering. -2024.-Vol.208:108599.DOI 10.1016/j.mineng.2024.108599

4. Tian C., Tang Z., Zhang H., Xie Y., Dai Z. Reagent dosage inference based on graph convolutional memory perception network for zinc roughing flotation // Control Engineering Practice. -2024. -Vol.146: 105882. DOI: 10.1016/j.conengprac.2024.105882.

5. Hasidi O., Abdelwahed E.H., El Alaoui-Chrifi M.A. et al. Data-driven system for intelligent monitoring and optimization of froth flotation circuits using Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms/Journal of Process Control. -2024 -Vol.137: 103198. DOI 10.1016/j.jprocont.2024.103198.

6. Quintanilla P., Neethling S., Brito-Parada P. Modelling for froth flotation control: A review // Minerals Engineering. -2021. -Vol.162: 106718. DOI 10.1016/j.mineng.2020.106718.

7. Quintanilla P., Navia D., Neethling S., Brito-Parada P. Experimental Implementation of an Economic Model Predictive Control for Froth Flotation // Computer Aided Chemical Engineering. -2024. -Vol.53. - P. 1759-1764. DOI 10.1016/B978-0-443-28824-1.50294-5.

8. Szmigiel A., Apel D.B., Skrzypkowski K. et al. Advancements in Machine Learning for Optimal Performance in Flotation Processes: A Review/Minerals. - 2024.-Vol.14(4):331. DOI 10.3390/min14040331.

9. Gomez-Flores A., Heyes G.W., Ilyas S., Kim H. Prediction of grade and recovery in flotation from physicochemical and operational aspects using machine learning models // Minerals Engineering. - 2022. - Vol.183: 107627. DOI 10.1016/j.mineng.2022.107627.

10. Qu J., Luukkanen S., Wan H. Machine vision-driven analysis of flotation froth properties: A comprehensive review of multidimensional feature extraction and intelligent optimization // Minerals Engineering. -2025. -Vol.233: 109591. DOI 10.1016/j.mineng.2025.109591.

Сведения об авторах

Акишев К. М. -к.т.н., ассоциированный профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: akmail04cx@mail.ru;

Подвалов А.Ю.- к.г.н, ТОО «AG TECH», Астана, Казахстан, e-mail: a.podvalov@ag-tech.kz;

Зейнуллин А.А.- д.т.н., профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: karim_57@mail.ru;

Айбульдинов Е.К.- PhD, профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: elaman_@mail.ru;

Оспанова М. К.- к.ф.м.н., Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: ospanova_madi_59@mail.ru;

Нурмаганбетов А.С.- к.т.н., ассоциированный профессор, ТОО «AG TECH», Астана, Казахстан, a.nurmaganbetov@ag-tech.kz;

Чугай М.А.- бакалавр, ТОО «AG TECH», Астана, Казахстан, e-mail: m.chagay@ag-tech.kz;

Айтиева М. И. -бакалавр, ТОО «AG Tech», Астана, Казахстан, m.aitiyeva@ag-tech.kz;

Хусаинова С. М.- магистр технических наук, ТОО «AG TECH», Астана, Казахстан, e-mail: s.khussainova@ag-tech.kz;

Токтар Н.А.- докторант, Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан, e-mail: akanov44@yandex.ru.

Information about the authors

Akishev K. M. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (Associate Professor), K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: akmail04cx@mail.ru;

Podvalov A.- Candidate of Geographical Sciences, AG TECH LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: a.podvalov@ag-tech.kz;

Zeynullin A.A.- Doctor of Technical Sciences, Professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: karim_57@mail.ru;

Aibuldinov Y.- PhD, Professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: elaman_@mail.ru;

Ospanova M.K.- Candidate of Physical and Mathematical Sciences, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: ospanova_madi_59@mail.ru;

Nurmaganbetov A.- Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, AG TECH LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: a.nurmaganbetov@ag-tech.kz;

Chagay M.- Bachelor’s degree, AG TECH LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: m.chagay@ag-tech.kz;

Aitiyeva M.- Bachelor’ s degree, AG TECH LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: m.aitiyeva@ag-tech.kz;

Khussainova S.- Master of Science in Engineering, Astana, Kazakhstan, e-mail: e-mail: s.khussainova@ag-tech.kz

Toktar N.- doctoral student, Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan, e-mail: akanov44@yandex.ru.

МРНТИ 28.23.15, 59.14.21 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1544**

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ 1D-CNN ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ ДАННЫМ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО ДАТЧИКА

[1]Ж.А. Муканова, [2]М.М. Есмагамбетова✉, [2]Т.У. Есмагамбетов, [1]А.Б. Байсымакова

[1]Университет «Туран», Алматы, Казахстан,
[2]Карагандинский университет Казпотребсоюза, Караганда, Казахстан

✉ *Корреспондирующий автор: marzhan1983@mail.ru*

В статье рассматривается задача автоматической идентификации состава газовых смесей на основе данных мультиспектрального сенсора. Анализ газовых сред является важной задачей для промышленной безопасности, экологического мониторинга, медицинской диагностики и интеллектуальных сенсорных систем. Традиционные методы газового анализа, основанные на спектроскопии, обеспечивают высокую точность измерений, однако требуют сложного оборудования и трудоемкой обработки данных. В связи с этим актуальным направлением является применение методов искусственного интеллекта для обработки спектральных сигналов. Целью данной работы является разработка и исследование модели сверточной нейронной сети для идентификации газовых смесей по спектральным данным мультиспектрального датчика AS7265x. Для проведения экспериментов была создана лабораторная установка, включающая мультиспектральный сенсор и систему контроля условий эксперимента на основе датчика температуры и давления. В качестве входных данных использовались спектральные векторы, содержащие 18 каналов интенсивности, соответствующих различным длинам волн. Для обработки спектральных данных была разработана архитектура одномерной сверточной нейронной сети (1D-CNN), способная выявлять характерные спектральные признаки различных газов. Модель была обучена и протестирована на экспериментальном наборе данных, содержащем измерения воздуха, углекислого газа и смеси кислорода с азотом. Экспериментальные результаты показали высокую точность классификации, достигшую 100% на тестовой выборке. Полученные результаты подтверждают эффективность применения методов глубокого обучения для анализа спектральных данных и демонстрируют перспективность использования компактных мультиспектральных сенсоров в интеллектуальных системах газоанализа.

Ключевые слова: мультиспектральный сенсор, анализ газовых смесей, сверточные нейронные сети, глубокое обучение, спектральный анализ, интеллектуальные сенсорные системы, идентификация газов, обработка сенсорных данных.

DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF A 1D-CNN FOR GAS MIXTURE IDENTIFICATION BASED ON SPECTRAL DATA FROM A MULTISPECTRAL SENSOR

[1]Zh.A. Mukanova, [2]M.M. Yesmagambetova✉, [2]T.U. Yesmagambetov, [1]A.B. Baisymakova

[1]Turan University, Almaty, Kazakhstan,
[2]Karaganda University of Kazpotrebsoyuz, Karaganda, Kazakhstan,
e-mail: marzhan1983@mail.ru

This article addresses the problem of automatically identifying the composition of gas mixtures based on data from a multispectral sensor. The analysis of gaseous media is a critical task for industrial safety, environmental monitoring, medical diagnostics, and intelligent sensor systems. Traditional gas analysis methods based on spectroscopy provide high measurement accuracy but require complex equipment and labor-intensive data processing. In this regard, the application of artificial intelligence methods for processing spectral signals is a timely area of research. The aim of this work is to develop and investigate a convolutional neural network model for identifying gas mixtures based on spectral data from the AS7265x

multispectral sensor. A laboratory setup was created for conducting experiments, including a multispectral sensor and a system for controlling experimental conditions based on temperature and pressure sensors. Spectral vectors containing 18 intensity channels corresponding to different wavelengths were used as input data. To process the spectral data, a one-dimensional convolutional neural network (1D-CNN) architecture was developed, capable of identifying characteristic spectral features of various gases. The model was trained and tested on an experimental dataset containing measurements of air, carbon dioxide, and a mixture of oxygen and nitrogen. The experimental results showed high classification accuracy, reaching 100% on the test set. The results confirm the effectiveness of deep learning methods for analyzing spectral data and demonstrate the potential for using compact multispectral sensors in intelligent gas analysis systems.

Keywords: multispectral sensor, gas mixture analysis, convolutional neural networks, deep learning, spectral analysis, intelligent sensor systems, gas identification, sensor data processing.

МУЛЬТИСПЕКТРЛІ ДАТЧИКТІҢ СПЕКТРЛІК ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША ГАЗ ҚОСПАЛАРЫН ИДЕНТИФИКАЦИЯЛАУ ҮШІН 1D-CNN ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ

[1]Ж.А. Муканова, [2]М.М. Есмагамбетова✉, [2]Т.У. Есмагамбетов, [1]А.Б. Байсымакова

[1]«Тұран» университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]Қазтұтынуодағы Қарағанды университеті, Қарағанды, Қазақстан,
e-mail: marzhan1983@mail.ru

Мақалада мультиспектрлік датчиктің деректеріне негізделген газ қоспаларының құрамын автоматты түрде анықтау мәселесі қарастырылады. Газ ортасын талдау өнеркәсіптік қауіпсіздік, экологиялық мониторинг, медициналық диагностика және интеллектуалды сенсорлық жүйелер үшін маңызды міндет болып табылады. Спектроскопияға негізделген газды талдаудың дәстүрлі әдістері өлшеудің жоғары дәлдігін қамтамасыз етеді, бірақ күрделі жабдықты және көп уақытты қажет ететін деректерді өңдеуді қажет етеді. Осыған байланысты, жасанды интеллект әдістерін спектрлік сигналды өңдеуге қолдану зерттеудің өзекті саласы болып табылады. Бұл жұмыстың мақсаты - AS7265x мультиспектральды датчигінен алынған спектрлік деректер негізінде газ қоспаларын анықтауға арналған конволюциялық нейрондық желі моделін әзірлеу және бағалау. Эксперименттер жүргізу үшін мультиспектралды сенсорды және температура мен қысым сенсорына негізделген эксперимент шарттарын бақылау жүйесін қамтитын зертханалық қондырғы жасалды. Кіріс ақпараты ретінде ретінде әр түрлі толқын ұзындығына сәйкес келетін 18 қарқындылық арнасы бар спектрлік векторлар қолданылды. Спектрлік деректерді өңдеу үшін әртүрлі газдарға тән спектрлік белгілерді анықтауға қабілетті бір өлшемді конволюциялық нейрондық желі (1D-CNN) архитектурасы жасалды. Модель ауаның, көмірқышқыл газының және оттегі-азот қоспасының өлшемдерін қамтитын тәжірибелік деректер жиынтығында оқытылды және сыналды. Эксперименттік нәтижелер сынақ үлгісінде 100% жеткен жоғары жіктеу дәлдігін көрсетті. Алынған нәтижелер спектрлік деректерді талдау үшін терең оқыту әдістерінің тиімділігін растайды және интеллектуалды газ талдау жүйелерінде ықшам мультиспектральды сенсорларды пайдалану перспективасын көрсетеді.

Түйін сөздер: мультиспектрлік сенсор, газ қоспасын талдау, конволюциялық нейрондық желілер, терең оқыту, спектрлік талдау, интеллектуалды сенсорлық жүйелер, газдарды идентификациялау, сенсорлық деректерді өңдеу.

Введение. Анализ состава газовых смесей представляет собой одну из ключевых задач в таких критически важных областях, как промышленная безопасность [1], охрана окружающей среды [2], медицина [3] и агротехнологии. Традиционные методы газового анализа основаны на спектроскопии в инфракрасном диапазоне и позволяют проводить высокоточное определение молекулярного состава веществ [4,5]. Однако такие методы требуют дорогостоящего обору-

дования, длительной постобработки и высокой квалификации персонала.

В последние годы активно развиваются интеллектуальные методы анализа данных, основанные на алгоритмах машинного и глубокого обучения [6]. Использование нейронных сетей (НС) позволяет автоматизировать интерпретацию спектральных сигналов и ускорить процесс распознавания состава газовых смесей. Особенно перспективным направлением является применение сверточных нейронных сетей (CNN), которые способны эффективно извлекать информативные признаки из структурированных сенсорных данных.

Современные компактные газоаналитические системы часто используют мультиспектральные оптические датчики, позволяющие регистрировать интенсивность отражения или поглощения в нескольких спектральных диапазонах. Одним из таких устройств является сенсор AS7265x, обеспечивающий измерение интенсивностей в нескольких каналах спектра. При этом на точность измерений могут влиять внешние условия, такие как температура и давление. Поэтому использование дополнительных сенсоров окружающей среды (например, барометрических датчиков) позволяет повысить устойчивость моделей и учитывать физические условия измерений.

Целью данной работы является разработка и исследование модели сверточной нейронной сети для идентификации состава газовых смесей на основе данных мультиспектрального датчика и датчика температуры и давления. В рамках работы спектральные измерения использовались в качестве входных данных нейронной сети, тогда как параметры температуры и давления применялись для контроля и стабилизации условий проведения эксперимента.

Ожидается, что применение CNN позволит эффективно извлекать закономерности из спектральных сигналов и повысить устойчивость системы к шумам и изменениям внешних условий. Полученные результаты могут быть использованы при разработке интеллектуальных сенсорных систем нового поколения для мониторинга газовых сред как в лабораторных, так и в полевых условиях.

Обзор литературы. В последние годы наблюдается стремительное развитие интеллектуальных систем газоанализа, объединяющих сенсорные технологии с методами искусственного интеллекта (ИИ). Такие системы находят применение в мониторинге окружающей среды, промышленной безопасности, медицинской диагностике и умных городах [7-11]. Особое внимание уделяется системам, способным к распознаванию сложных смесей газов в условиях высокой зашумленности и ограниченных вычислительных ресурсах. В данном разделе рассмотрены современные исследования, использующие как числовые спектры, так и визуальные изображения, а также архитектуры глубокого и мультимодального обучения.

Спектроскопия в сочетании с глубоким обучением.

Методы инфракрасной и оптической спектроскопии широко используются для анализа состава газов. В сочетании с алгоритмами машинного обучения такие методы позволяют автоматизировать процесс интерпретации спектров.

В работе Ding и др. [12] предложена архитектура многозадачного обучения для задач обнаружения газов, объединяющая рекуррентные нейронные сети типа LSTM и остаточную одномерную сверточную нейронную сеть. Предложенная модель Multi-task learning LACNet позволяет одновременно выполнять классификацию газов и прогнозирование их концентрации. Дополнительный модуль внимания обеспечивает автоматическое выделение наиболее информативных признаков сенсорных данных, что способствует повышению точности анализа. Экспериментальные результаты, полученные на открытых наборах данных электронных носов, показали высокую эффективность предложенного метода: точность классификации достигла 98–99 %, а коэффициент детерминации при оценке концентрации газов превысил 0.98. Полученные результаты подтверждают перспективность применения методов глубокого обучения для интеллектуальной обработки данных газовых сенсорных систем.

Zhang и его коллеги [13] предложили систему обнаружения газов, основанную на спектроскопии модуляции длины волны (Wavelength Modulation Spectroscopy, WMS) с использованием сигналов 2f/1f. В работе была разработана модель прогнозирования концентрации на основе сверточной нейронной сети, предназначенная для компенсации перекрытия спектральных линий различных газовых компонентов. Для решения проблемы ограниченного объёма экспериментальных данных авторы применили генеративно-состязательную сеть (GAN), позволяющую выполнять эффективное расширение обучающей выборки. Предложенный подход позволил одновременно определять концентрации углекислого газа (CO_2) и метана (CH_4) с высокой точностью. Полученные результаты продемонстрировали высокие коэффициенты детерминации при сравнении прогнозируемых и эталонных значений концентрации, а также низкие пределы обнаружения, что подтверждает перспективность применения методов глубокого обучения для спектроскопического анализа многокомпонентных газовых смесей.

В работе Mou и Zhu [14] предложен спектральный attention-модуль для анализа гиперспектральных данных, позволяющий выделять наиболее информативные спектральные полосы и снижать влияние шума.

Дополнительно исследования показывают эффективность интеллектуальной обработки сенсорных сигналов высокой частоты. В работе [15] предложен метод аппаратно-программной обработки высокочастотных данных, позволяющий улучшить качество анализа сенсорных измерений и повысить надежность интерпретации сигналов.

Сенсорные системы и интеллектуальный газоанализ.

Современные интеллектуальные газоаналитические системы объединяют данные различных сенсоров для повышения точности измерений. Помимо спектральных характеристик часто используются дополнительные параметры окружающей среды, такие как температура, давление и влажность.

Nasri и др. в обзорной работе [16] рассматривают различные типы газовых сенсоров, включая электрохимические, резистивные, ёмкостные и акустические датчики, а также методы их изготовления и повышения чувствительности. Авторы отмечают, что одной из ключевых проблем современных сенсорных систем является недостаточная селективность сенсоров и сложность распознавания газовых компонентов в условиях шумных и многокомпонентных данных. В работе показано, что использование алгоритмов машинного обучения позволяет значительно улучшить обработку сенсорных сигналов и повысить точность классификации газов. Кроме того, обсуждаются основные алгоритмы распознавания образов и их применение для интеллектуальной обработки данных газовых сенсорных систем. Полученные результаты подтверждают важность интеграции методов машинного обучения с современными сенсорными технологиями для разработки высокочувствительных и селективных систем обнаружения газов.

Отдельные исследования также рассматривают применение нейронных сетей для обработки данных мультиспектральных газоанализаторов и анализа спектральных сигналов сенсорных систем. Так, в работе [17] предложена нейросетевая модель обработки данных мультиспектрального газоанализатора, демонстрирующая перспективность использования методов машинного обучения для интерпретации спектральной информации и повышения точности распознавания газовых компонентов.

Таким образом, интеграция мультиспектральных сенсоров с алгоритмами глубокого обучения является перспективным направлением развития интеллектуальных систем газоанализа.

Материалы и методы. *Экспериментальная установка и сбор данных.*

Для проведения экспериментальных исследований была собрана лабораторная установка, представляющая собой компактную газодинамическую систему замкнутого цикла. Установка предназначена для регистрации спектральных характеристик газовых смесей и последующего

анализа их состава.

Основу экспериментального комплекса составляет микроконтроллерная плата Arduino, обеспечивающая управление сенсорами и сбор данных. Для регистрации спектральных характеристик использовался многоканальный оптический сенсор AS7265x, способный измерять интенсивности отражения в диапазоне длин волн от 410 до 940 нм. Сенсор регистрирует значения интенсивности в 18 спектральных каналах, формируя спектральный вектор измерений.

Для контроля условий проведения эксперимента применялся барометрический датчик BMP180, который использовался для мониторинга температуры и атмосферного давления в измерительной камере. Эти параметры фиксировались в ходе экспериментов для обеспечения стабильности условий измерений, однако не использовались в качестве входных данных нейронной сети.

Схема лабораторного стенда представлена на рисунке 1.

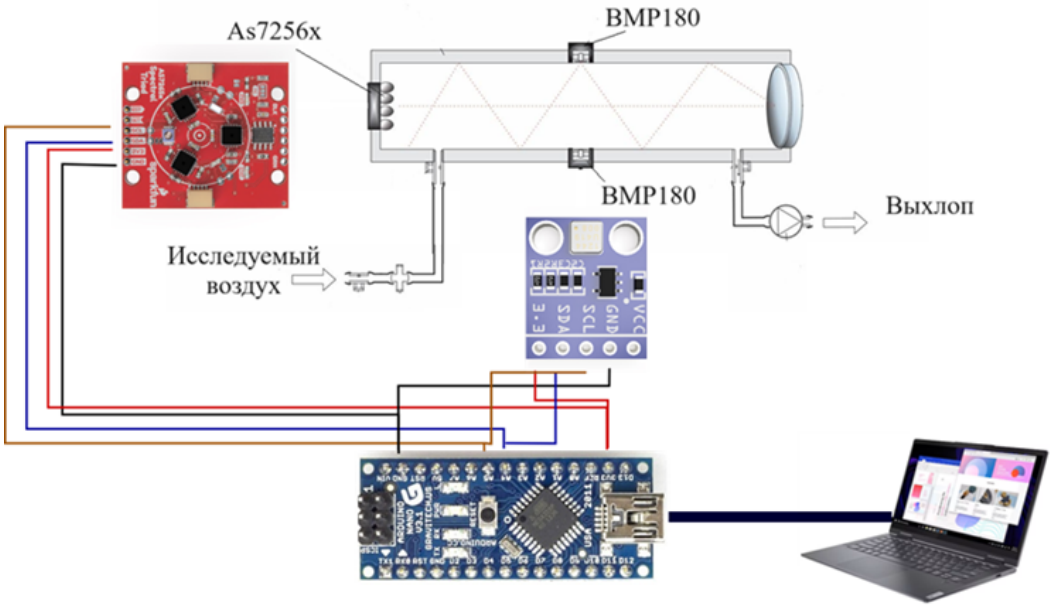


Рис.1 - Схема экспериментального стенда

Газовая смесь циркулировала внутри контейнера, снабженного параболическим диффузором и камерой генерации газа, где происходило насыщение воздуха исследуемыми компонентами. Движение газового потока обеспечивалось циркуляционным насосом, поддерживающим равномерную прокачку через измерительную ячейку.

В качестве исследуемых веществ использовались:

- воздух;
- углекислый газ (CO_2);
- смесь кислорода и азота в соотношении 9:1.

Измерения проводились в лабораторном помещении площадью 20 м². Для калибровки и проверки точности использовался портативный газоанализатор Bosean K-600.

Каждому измерению соответствовал вектор из 18 спектральных значений, полученных с мультиспектрального сенсора AS7265x.

Предобработка данных. Полученные спектральные данные представляли собой одномерные векторы интенсивности, соответствующие различным длинам волн. В отличие от некоторых подходов, где спектры преобразуются в изображения или спектрограммы, в данной работе данные использовались непосредственно в виде спектральных векторов, что позволяет сохранить исходную физическую структуру сигна-

ла.

Перед обучением модели данные проходили стандартную предварительную обработку, включающую:

- проверку корректности измерений;

- нормализацию спектральных значений;

- формирование обучающего набора данных.

Общий объём экспериментального набора данных составил 3192 спектральных измерения, полученных для трёх классов газовых сред:

- воздух - 1644 образца;

- CO_2 - 1116 образцов;

- O_2–N_2 - 432 образца.

Набор данных был разделён на три части:

- обучающая выборка - 70%,

- валидационная выборка - 15%,

- тестовая выборка - 15%.

Валидационная выборка использовалась для настройки гиперпараметров модели и контроля процесса обучения, тогда как тестовая выборка применялась исключительно для финальной оценки качества модели. Стратифицированное разбиение позволило сохранить исходное распределение классов во всех подвыборках.

Архитектура модели. Для идентификации состава газовых смесей была разработана модель одномерной сверточной нейронной сети (1D-CNN), предназначенная для обработки спектральных данных.

Входной слой сети принимает одномерный вектор из 18 спектральных значений, соответствующих каналам сенсора AS7265x. Эти данные представляют собой спектральную последовательность, в которой соседние элементы соответствуют близким диапазонам длин волн.

Архитектура сети включает следующие основные компоненты:

- сверточные слои Conv1D, извлекающие локальные спектральные признаки;

- слои подвыборки MaxPooling, уменьшающие размерность признакового пространства;

- полносвязные слои Dense, объединяющие извлечённые признаки;

- выходной слой Softmax, выполняющий классификацию типа газа.

Использование сверточных слоев позволяет автоматически выявлять характерные спектральные паттерны, соответствующие различным газам и их смесям.

На рисунке 2 представлена архитектура нейронной сети.

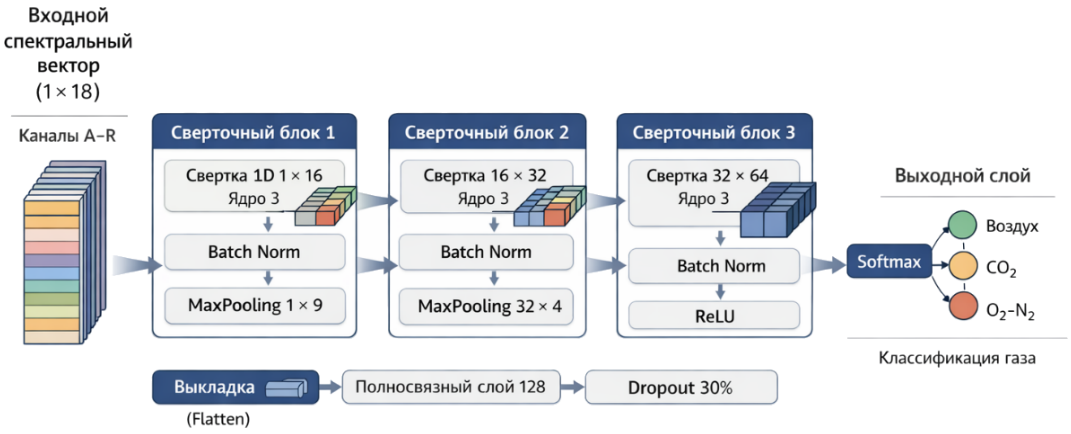


Рис.2 - Архитектура нейронной сети

Обучение и оценка модели. Модель была реализована с использованием библиотеки PyTorch и обучена на наборе данных, полученных в результате лабораторных экспериментов.

Обучение проводилось с использованием оптимизатора Stochastic Gradient Descent (SGD) со

следующими параметрами:

- learning rate - 0.001
- momentum - 0.9
- batch size - 32

Для задачи классификации применялась функция потерь CrossEntropyLoss.

В процессе обучения на каждой эпохе оценивались показатели качества модели на обучающей и валидационной выборках. Основной метрикой выступала Точность (Accuracy), характеризующая долю правильно классифицированных образцов.

Дополнительно рассчитывались следующие метрики:

- Precision;
- Recall;
- F1-score

После завершения обучения финальная оценка модели проводилась на тестовой выборке. Для анализа результатов также строилась матрица ошибок (confusion matrix), позволяющая оценить точность распознавания различных типов газов.

В ходе обучения сохранялись графики изменения функции потерь и точности, что позволило контролировать динамику обучения и выявлять признаки возможного переобучения модели.

Обсуждение и результаты. *Результаты обучения модели.* Для оценки эффективности предложенной архитектуры 1D сверточной нейронной сети была проведена серия экспериментов на наборе спектральных данных, полученных с мультиспектрального сенсора. Данные были разделены на обучающую, валидационную и тестовую выборки. Обучение модели проводилось в течение 50 эпох с использованием оптимизатора стохастического градиентного спуска (SGD).

На рисунке 3 представлен график изменения функции потерь в процессе обучения. Можно наблюдать быстрое уменьшение значения функции потерь на первых эпохах обучения, что свидетельствует об эффективном процессе оптимизации параметров модели. После примерно 15–20 эпох значение функции потерь стабилизируется и постепенно приближается к нулю. При этом кривые обучающих и валидационных потерь практически совпадают, что указывает на отсутствие переобучения и хорошую способность модели к обобщению.

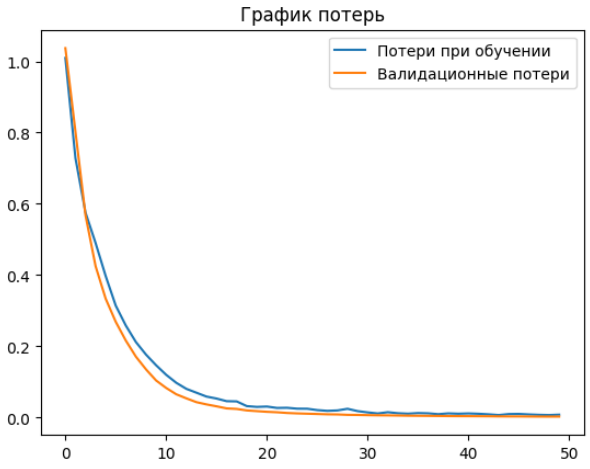


Рис.3 - График потерь

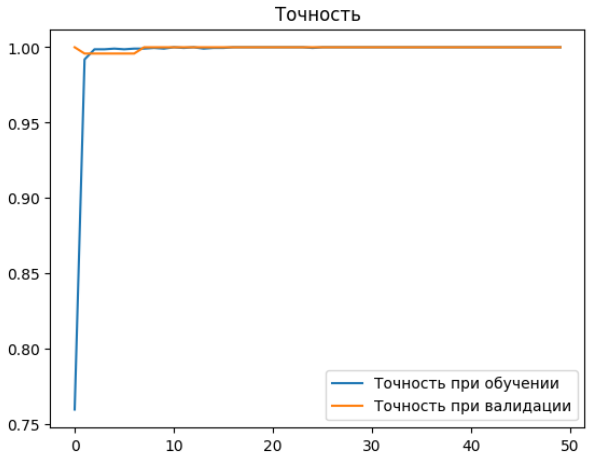


Рис.4 - График точности

Динамика изменения точности классификации показана на рисунке 4. Уже в первые эпохи наблюдается значительный рост точности, после чего точность быстро достигает значений, близких к 1.0. После примерно 10 эпох обучения точность на обучающей и валидационной

выборках стабилизируется на уровне 100%.

Оценка качества классификации. Финальная оценка эффективности модели проводилась на тестовой выборке, содержащей 479 образцов. Матрица ошибок представлена на рисунке 5.

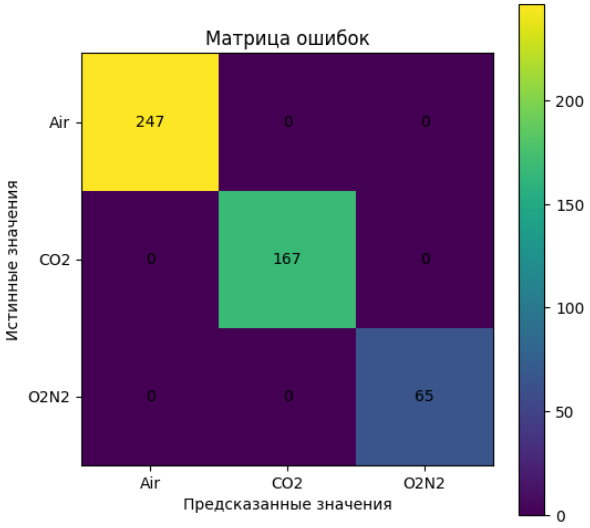


Рис.5 - Матрица ошибок

Как видно из матрицы ошибок, модель корректно классифицировала все образцы тестовой выборки. Для каждого класса все предсказания оказались правильными, а ошибки классификации отсутствуют. Количество правильно классифицированных образцов составило:

- Air - 247
- CO_2 - 167
- O_2N_2 - 65

Таким образом, предложенная модель успешно различает спектральные сигнатуры всех исследуемых газов.

Метрики качества модели. Для количественной оценки эффективности модели были рассчитаны стандартные метрики классификации: precision, recall и F1-score. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Метрики классификации

Класс	Precision	Recall	F1-score	Количество
Air	1.00	1.00	1.00	247
CO_2	1.00	1.00	1.00	167
O_2–N_2	1.00	1.00	1.00	65

Общая точность классификации составила:

Accuracy = 1.00 (100%)

Также были получены следующие агрегированные показатели:

Macro average F1-score = 1.00

Weighted average F1-score = 1.00

Для дополнительной оценки эффективности предложенной архитектуры 1D-CNN было проведено сравнение с рядом классических алгоритмов машинного обучения, широко применяемых для задач классификации сенсорных данных. В качестве базовых моделей использовались:

- метод опорных векторов (Support Vector Machine, SVM);
- Random Forest;
- многослойный персептрон (MLP).

Все модели обучались и тестировались на одном и том же наборе спектральных данных с использованием одинакового разбиения на обучающую, валидационную и тестовую выборки. Для обеспечения корректности сравнения применялась одинаковая предварительная обработка данных, включающая нормализацию спектральных признаков.

Результаты сравнительного анализа показали, что все исследованные модели продемонстрировали очень высокую точность классификации (таблица 2).

Таблица 2 - Сравнение алгоритмов классификации

Модель	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
SVM	1.00	1.00	1.00	1.00
Random Forest	1.00	1.00	1.00	1.00
MLP	1.00	1.00	1.00	1.00
1D-CNN	1.00	1.00	1.00	1.00

Несмотря на одинаковые итоговые значения accuracy, использование архитектуры 1D-CNN является перспективным для дальнейшего масштабирования системы на более сложные многокомпонентные смеси, поскольку сверточные сети способны автоматически извлекать локальные спектральные признаки и учитывать взаимосвязи между соседними спектральными каналами.

Анализ устойчивости моделей к шумовым искажениям. Дополнительно была проведена оценка устойчивости моделей к шумовым искажениям спектральных данных. Для этого в тестовые спектры добавлялся гауссов шум различной интенсивности. Полученные результаты позволили оценить влияние уровня шума на качество классификации различных моделей.

Результаты эксперимента показали, что при небольшом уровне шумов все исследованные модели сохраняют высокую точность классификации (таблица 3). Однако при увеличении интенсивности шумовых искажений наблюдалось постепенное снижение качества распознавания для всех алгоритмов.

Таблица 3 - Устойчивость моделей к шумовым искажениям

Noise STD	SVM	Random Forest	MLP	1D-CNN
0.1	1.000	1.000	1.000	1.000
0.2	1.000	0.996	1.000	1.000
0.3	1.000	0.990	0.998	0.979
0.5	0.987	0.952	0.956	0.894
1.0	0.839	0.800	0.862	0.668

Полученные результаты показывают, что при небольшом и умеренном уровне шумов все исследованные модели демонстрируют высокую устойчивость к искажениям спектральных сигналов. Однако при значительном увеличении уровня шума более устойчивые результаты продемонстрировали классические алгоритмы машинного обучения, в частности метод опорных векторов (SVM).

Вероятно, это связано с относительно небольшой размерностью входных спектральных данных (18 спектральных каналов), при которой классические методы машинного обучения могут демонстрировать более высокую устойчивость к сильным шумовым искажениям по сравнению с глубокими сверточными архитектурами.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что эффективность конкретной модели зависит не только от архитектуры алгоритма, но и от структуры спектральных данных, уровня шумов и сложности рассматриваемой задачи. Проведённый анализ подтверждает перспективность применения как глубоких нейронных

сетей, так и классических методов машинного обучения для задач интеллектуального анализа спектральных данных газовых сенсоров. Одновременно результаты показывают необходимость дальнейших исследований, направленных на повышение устойчивости моделей к шумовым искажениям и расширение числа анализируемых газовых смесей.

Анализ полученных результатов. Полученные результаты показывают, что исследуемые спектральные данные обладают высокой степенью разделимости для рассматриваемых классов газов. Все исследованные модели машинного обучения, включая SVM, Random Forest, MLP и предложенную архитектуру 1D-CNN, продемонстрировали высокую точность классификации на тестовой выборке.

Высокие значения accuracy могут быть объяснены выраженными различиями спектральных характеристик исследуемых газов, а также тем, что данные были получены в контролируемых лабораторных условиях с относительно низким уровнем шумов и помех. Несмотря на небольшую размерность входных данных (18 спектральных каналов), модели смогли эффективно выявлять закономерности, соответствующие различным газовым компонентам.

Проведённый анализ устойчивости моделей к шумовым искажениям показал, что при небольшом уровне шумов все исследованные алгоритмы сохраняют высокую точность классификации. Однако при значительном увеличении уровня шума более устойчивые результаты продемонстрировали классические методы машинного обучения, в частности SVM. Вероятно, это связано с относительно небольшой размерностью входных спектральных данных, при которой классические алгоритмы могут быть менее чувствительны к сильным случайным искажениям по сравнению с глубокими сверточными архитектурами.

Следует учитывать, что достигнутая точность классификации была получена на ограниченном экспериментальном наборе данных в контролируемых условиях. Поэтому полученные результаты требуют дальнейшей проверки на более сложных многокомпонентных газовых смесях и различных концентрациях компонентов.

Выводы. В данной работе была разработана и исследована архитектура сверточной нейронной сети для идентификации газов на основе данных мультиспектрального сенсора. В качестве входных данных использовались спектральные значения, полученные с сенсора AS7265x, регистрирующего интенсивности в 18 спектральных каналах. Дополнительные параметры окружающей среды, такие как температура и давление, применялись для контроля условий проведения эксперимента.

Предложенная модель одномерной сверточной нейронной сети позволила эффективно извлекать информативные признаки из спектральных данных и продемонстрировала высокую точность классификации исследуемых газов. Экспериментальные результаты показали, что модель способна корректно различать спектральные сигнатуры воздуха, углекислого газа и смеси кислорода с азотом. При тестировании на независимой выборке была достигнута точность классификации 100%, а значения метрик precision, recall и F1-score также составили 1.00 для всех классов.

Полученные результаты демонстрируют высокую эффективность применения сверточных нейронных сетей для анализа спектральных данных мультиспектральных сенсоров. Несмотря на относительно небольшое количество входных признаков, модель способна выявлять устойчивые спектральные закономерности, соответствующие различным газовым компонентам.

Дополнительно следует отметить, что предложенная архитектура 1D-CNN является развитием ранее исследованной модели многослойного персептрона (MLP), применявшейся для анализа спектральных данных мультиспектрального газоанализатора. В отличие от полносвязных архитектур, сверточная нейронная сеть позволяет более эффективно учитывать локальные взаимосвязи между спектральными каналами, что делает её более перспективной для дальнейшего масштабирования при увеличении числа исследуе-

мых газов и газовых смесей.

Следует учитывать, что текущий эксперимент проводился на ограниченном количестве газов и газовых смесей в контролируемых лабораторных условиях. Поэтому полученные результаты не следует напрямую обобщать на произвольные многокомпонентные смеси без проведения дополнительных исследований. Кроме того, достигнутая точность классификации характеризует эффективность модели в рамках рассматриваемого экспериментального сценария и требует дальнейшей проверки на более сложных наборах данных, содержащих большее число газов и различные концентрации компонентов.

Несмотря на указанные ограничения, результаты исследования подтверждают перспективность применения методов глубокого обучения в сочетании с компактными мультиспектральными сенсорами для создания интеллектуальных систем газоанализа. Полученные результаты создают основу для дальнейших исследований, направленных на расширение набора анализируемых газов, увеличение количества газовых смесей и повышение устойчивости моделей к изменениям внешних условий.

Перспективным направлением дальнейших исследований является развитие более сложных архитектур анализа данных, в частности мультимодальных моделей. В будущей работе планируется разработка и исследование мультимодальной нейросетевой архитектуры для идентификации состава газовых смесей на основе объединения числовых спектров и их визуальных представлений в виде спектрограмм. Предполагается, что такой подход позволит объединить преимущества классических полносвязных моделей (MLP), эффективно работающих с числовыми векторными данными, и сверточных нейронных сетей (CNN), способных извлекать пространственные признаки из изображений спектров. В рамках этой работы также планируется провести сравнительный анализ мультимодальной архитектуры с базовыми моделями, использующими только числовые спектры или только визуальные представления данных.

Таким образом, данная работа является следующим этапом развития интеллектуальной системы анализа газовых смесей, основанной на применении мультиспектральных сенсоров и методов глубокого обучения.

Литература

1. Maasakkers J.D. et al. Using satellites to uncover large methane emissions from landfills //Science Advances. -2022. -Vol.8 (32): eabn9683. DOI 10.1126/sciadv. abn9683.

2. Mei Y., et al. Convolution theorem associated with the QWFRFT //Chinese Journal of Electronics. -2023. -Vol.32 (3). -P.485-492. DOI 10.23919/cje.2021.00.225.

3. Mahapatra C. Recent advances in medical gas sensing with artificial intelligence–enabled technology //Medical Gas Research. -2025. -Vol. 15(2). -P.318-326. DOI 10.4103/mgr.MEDGASRES-D-24-00113.

4. Zhang W. et al. A review of machine learning for near-infrared spectroscopy //Sensors. -2022. -Vol.22 (24): 9764. DOI 10.3390/s22249764.

5. Guan G., et al. Near-infrared off-axis cavity-enhanced optical frequency comb spectroscopy for CO2/CO dual-gas detection assisted by machine learning //ACS sensors. -2024. -Vol.9 (2). -P.820-829. DOI 10.1021/acssensors.3c02146.

6. Chowdhury M.A.Z., Oehlschlaeger M.A. Deep learning for gas sensing via infrared spectroscopy //Sensors. -2024. -Vol.24 (6): 1873. DOI 10.3390/s24061873.

7. Chowdhury M.A.Z., Oehlschlaeger M.A. Artificial intelligence in gas sensing: a review //ACS sensors. -2025. -Vol.10 (3). -P.1538-1563. DOI 10.1021/acssensors.4c02272.

8. Zong B., et al. Smart gas sensors: recent developments and future prospective //Nano-Micro Letters. -2025. -Vol.17(1). -P.54. DOI 10.1007/s40820-024-01543-w.

9. Gu Y., Huang B., Zhu H. Smart gas sensors toward signal and data processing: A review //IEEE Sensors Journal. - 2024. - Vol.25(2). - P. 2125-2140. DOI 10.1109/JSEN.2024.3507195.

10. Feng S., et al. Review on smart gas sensing technology //Sensors. -2019. -Vol.19(17): 3760. DOI 10.3390/s19173760.

11. Chen Z., et al. Smart gas sensor arrays powered by artificial intelligence //Journal of Semiconductors. -2019. -Vol.40 (11): 111601. DOI 10.1088/1674-4926/40/11/111601.

12. Ding Y., et al. Multi-task learning with attention for efficient gas classification and concentration prediction in sensor arrays //Measurement Science and Technology. -2026. -Vol.37(2): 025102. DOI 10.1088/1361-6501/ae2b8f.

13. Zhang H. Et al. Deep Learning-Enhanced Dual-Component Gas Sensor Based on Wavelength Modulation Spectroscopy //Analytical Chemistry. -2025. -Vol.97 (40). -P.22032-22040. DOI 10.1021/acs.analchem.5c03438.

14. Mou L., Zhu X. X. Learning to pay attention on spectral domain: A spectral attention module-based convolutional network for hyperspectral image classification //IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. -2019.-Vol.58(1). -P.110-122. DOI 10.1109/TGRS.2019.2933609.

15. Mukanova Z., Atanov S., Jamshidi M. Intelligent hardware-software processing of high-frequency scanning data //Journal of Robotics and Control (JRC). -2023. -Vol.4 (5). -P.600-611. DOI 10.18196/jrc.v4i5.18915.

16. Nasri A., et al. A smart gas sensor using machine learning algorithms: sensor types based on IED configurations, fabrication techniques, algorithmic approaches, challenges, progress, and limitations: a review //IEEE Sensors Journal. -2023. -Vol.23 (11). -P. 11336-11355. DOI 10.1109/JSEN.2023.3268342.

17. Муканова Ж., Атанов С. Разработка модели нейронной сети для анализа газовых смесей //Вестник КазАТК. -2024. -Т.132(3). - С.350-360. DOI 10.52167/1609-1817-2024-132-3-350-360.

References

1. Maasakkers J.D. et al. Using satellites to uncover large methane emissions from landfills //Science Advances. -2022. -Vol.8 (32): eabn9683. DOI 10.1126/sciadv. abn9683.

2. Mei Y., et al. Convolution theorem associated with the QWFRFT //Chinese Journal of Electronics. -2023. -Vol.32 (3). -P.485-492. DOI 10.23919/cje.2021.00.225.

3. Mahapatra C. Recent advances in medical gas sensing with artificial intelligence–enabled technology //Medical Gas Research. -2025. -Vol. 15(2). -P.318-326. DOI 10.4103/mgr.MEDGASRES-D-24-00113

4. Zhang W. et al. A review of machine learning for near-infrared spectroscopy //Sensors. -2022. -Vol.22 (24): 9764. DOI 10.3390/s22249764.

5. Guan G., et al. Near-infrared off-axis cavity-enhanced optical frequency comb spectroscopy for CO2/CO dual-gas detection assisted by machine learning //ACS sensors. -2024. -Vol.9 (2). -P.820-829. DOI 10.1021/acssensors.3c02146.

6. Chowdhury M.A.Z., Oehlschlaeger M.A. Deep learning for gas sensing via infrared spectroscopy //Sensors. -2024. -Vol.24 (6): 1873. DOI 10.3390/s24061873.

7. Chowdhury M.A.Z., Oehlschlaeger M.A. Artificial intelligence in gas sensing: a review //ACS sensors. -2025. -Vol.10 (3). -P.1538-1563. DOI 10.1021/acssensors.4c02272.

8. Zong B., et al. Smart gas sensors: recent developments and future prospective //Nano-Micro Letters. -2025. -Vol.17(1). -P.54. DOI 10.1007/s40820-024-01543-w.

9. Gu Y., Huang B., Zhu H. Smart gas sensors toward signal and data processing: A review //IEEE Sensors Journal. - 2024. - Vol.25(2). - P. 2125-2140. DOI 10.1109/JSEN.2024.3507195.

10. Feng S., et al. Review on smart gas sensing technology //Sensors. -2019. -Vol.19(17): 3760. DOI 10.3390/s19173760.

11. Chen Z., et al. Smart gas sensor arrays powered by artificial intelligence //Journal of Semiconductors. -2019. -Vol.40 (11): 111601. DOI 10.1088/1674-4926/40/11/111601.

12. Ding Y., et al. Multi-task learning with attention for efficient gas classification and concentration prediction in sensor arrays //Measurement Science and Technology. -2026. -Vol.37(2): 025102. DOI 10.1088/1361-6501/ae2b8f.

13. Zhang H. Et al. Deep Learning-Enhanced Dual-Component Gas Sensor Based on Wavelength Modulation Spectroscopy //Analytical Chemistry. -2025. -Vol.97 (40). -P.22032-22040. DOI 10.1021/acs.analchem.5c03438.

14. Mou L., Zhu X. X. Learning to pay attention on spectral domain: A spectral attention module-based convolutional network for hyperspectral image classification //IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. -2019.-Vol.58(1). -P.110-122. DOI 10.1109/TGRS.2019.2933609.

15. Mukanova Z., Atanov S., Jamshidi M. Intelligent hardware-software processing of high-frequency scanning data //Journal of Robotics and Control (JRC). -2023. -Vol.4 (5). -P.600-611. DOI 10.18196/jrc.v4i5.18915.

16. Nasri A., et al. A smart gas sensor using machine learning algorithms: sensor types based on IED configurations, fabrication techniques, algorithmic approaches, challenges, progress, and limitations: a review //IEEE Sensors Journal. -2023. -Vol.23 (11). -P. 11336-11355. DOI 10.1109/JSEN.2023.3268342.

17. Mukanova Zh., Atanov S. Razrabotka modeli nejronnoj seti dlja analiza gazovyh smesej //Vestnik KazATK. -2024. -T.132(3). - S. 350-360. DOI 10.52167/1609-1817-2024-132-3-350-360. [in Russian]

Сведения об авторах

Муканова Ж.А.- PhD, Университет «Туран», Алматы, Казахстан, e-mail: Zhanna.Mukanova.83@mail.ru;

Есмагамбетова М.М.- PhD, Карагандинский университет Казпотребсоюза, Караганда, Казахстан, e-mail: marzhan1983@mail.ru;

Есмагамбетов Т.У.- магистр, Карагандинский университет Казпотребсоюза, Караганда, Казахстан, e-mail: Timur198300@mail.ru;

Байсымакова А.Б.- студентка, Университет «Туран», Алматы, Казахстан, e-mail: anelya.baisymakova.2004@gmail.com.

Information about the authors

Mukanova Zh.- PhD, Turan University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: Zhanna.Mukanova.83@mail.ru;

Yesmagambetova M.- PhD, Karaganda University of Kazpotrebsoyuz, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: marzhan1983@mail.ru;

Yesmagambetov T. - Master’ s degree, Karaganda University of Kazpotrebsoyuz, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: Timur198300@mail.ru;

Baisymakova A.- a student, Университет «Туран», Алматы, Казахстан, e-mail: anelya.baisymakova.2004@gmail.com.

IRSTI 28.23.37 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1498**

NEURAL NETWORK-BASED FORECASTING OF SPRING WHEAT YIELD IN RESPONSE TO PHOSPHORUS APPLICATION IN KAZAKHSTAN

[1]S.Ye. Sharipova, [2]A.S. Akanova, [3]N.N. Ospanova
[1]Astana IT University, Astana, Kazakhstan,
[2]S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan,
[3]Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan
Correspondent-author: saltanat.sharipova@astanait.edu.kz, akerkegansaj@mail.ru

Accurate crop yield forecasting plays an important role in precision agriculture and sustainable food production. This study presents a hybrid Dense-LSTM neural network model for forecasting spring wheat yield under varying phosphorus application levels and meteorological conditions in Kazakhstan.

The dataset was constructed using regional agricultural and meteorological observations collected between 2000 and 2022. To improve data quality and model stability, several preprocessing techniques were applied, including median-based missing value imputation, outlier handling and feature normalization using MinMax and StandardScaler approaches.

The proposed hybrid architecture combined Dense and LSTM layers to capture nonlinear relationships and temporal dependencies within agricultural data. Model performance was evaluated using MSE, RMSE, MAE and R^2 metrics and compared with traditional machine learning approaches, including Linear Regression, Random Forest and Gradient Boosting models.

Experimental results demonstrated that incorporating phosphorus-related indicators into the input feature space improved forecasting accuracy. Among the evaluated approaches, StandardScaler normalization combined with the proposed hybrid neural network achieved the best predictive performance with an MSE value of 7.36.

The obtained results demonstrate the applicability of hybrid deep learning architectures for agricultural forecasting tasks under Kazakhstan-specific agro-climatic conditions and highlight the importance of integrating environmental and agronomic factors in precision agriculture applications.

Keywords: neural network, yield, spring wheat, phosphorus, prediction

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ФОСФОР ЕНГІЗУ ДЕҢГЕЙІНЕ БАЙЛАНЫСТЫ ЖАЗДЫҚ БИДАЙ ӨНІМДІЛІГІН НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІЛЕР АРҚЫЛЫ БОЛЖАУ

[1]С.Е. Шарипова, [2]А.С. Аканова, [3]Н.Н. Оспанова
[1]Astana IT University, Астана, Қазақстан,
[2]С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан,
[3]Toraighyrov University, Павлодар, Қазақстан,
e-mail: saltanat.sharipova@astanait.edu.kz, akerkegansaj@mail.ru

Ауыл шаруашылығы өнімділігін дәл болжау дәлме-дәл егіншілік пен тұрақты азық-түлік өндірісінде маңызды рөл атқарады. Бұл зерттеуде Қазақстанның әртүрлі фосфор енгізу деңгейлері мен метеорологиялық жағдайларында жаздық бидай өнімділігін болжауға арналған гибридті Dense-LSTM нейрондық желі моделі ұсынылды.

Деректер жиыны 2000–2022 жылдар аралығында жиналған аймақтық аграрлық және метеорологиялық бақылаулар негізінде қалыптастырылды. Деректер сапасы мен модель тұрақтылығын арттыру мақсатында бірнеше алдын ала өңдеу әдістері қолданылды, соның ішінде медиана негізінде жетіспейтін мәндерді толтыру, ауытқуларды өңдеу және MinMax пен StandardScaler тәсілдері арқылы белгілерді қалыпқа келтіру.

Ұсынылған гибридті архитектура ауыл шаруашылығы деректеріндегі бейсызық байланыстар мен уақыттық тәуелділіктерді анықтау үшін Dense және LSTM қабаттарын біріктірді. Модель өнімділігі MSE, RMSE, MAE және R^2 метрикалары арқылы бағаланып, Linear Regression, Random Forest және Gradient Boosting сияқты дәстүрлі машиналық оқыту әдістерімен салыстырылды.

Эксперимент нәтижелері кіріс белгілері кеңістігіне фосфорға қатысты көрсеткіштерді енгізу болжау дәлдігін арттырғанын көрсетті. Бағаланған тәсілдердің ішінде StandardScaler қалыпқа келтіруімен бірге қолданылған ұсынылған гибридті нейрондық желі MSE = 7.36 нәтижесімен ең жоғары болжау өнімділігін көрсетті.

Алынған нәтижелер Қазақстанның агроклиматтық жағдайларында ауыл шаруашылығы өнімділігін болжау міндеттері үшін гибридті терең оқыту архитектураларының қолдануға жарамдылығын дәлелдейді және дәлме-дәл егіншілік жүйелерінде экологиялық және агрономиялық факторларды біріктірудің маңыздылығын көрсетеді.

Түйін сөздер: нейрондық желі, өнімділік, жаздық бидай, фосфор, болжау.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВНЕСЕНИЯ ФОСФОРА В КАЗАХСТАНЕ

[1]С.Е. Шарипова✉, [2]А.С. Аканова✉, [3]Н.Н. Оспанова

[1]Astana IT University, Астана, Казахстан,
[2]Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, Астана, Казахстан,
[3]Toraighyrov University, Павлодар, Казахстан
e-mail: saltanat.sharipova@astanait.edu.kz, akerkegansaj@mail.ru

Точное прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур играет важную роль в точном земледелии и устойчивом производстве продовольствия. В данном исследовании представлена гибридная нейронная сеть Dense-LSTM для прогнозирования урожайности яровой пшеницы при различных уровнях внесения фосфора и метеорологических условиях Казахстана.

Набор данных был сформирован на основе региональных аграрных и метеорологических наблюдений, собранных в период с 2000 по 2022 годы. Для повышения качества данных и устойчивости модели были применены различные методы предварительной обработки, включая заполнение пропущенных значений на основе медианы, обработку выбросов и нормализацию признаков с использованием подходов MinMax и StandardScaler.

Предложенная гибридная архитектура объединила Dense- и LSTM-слои для выявления нелинейных взаимосвязей и временных зависимостей в сельскохозяйственных данных. Производительность модели оценивалась с использованием метрик MSE, RMSE, MAE и R^2, а также сравнивалась с традиционными методами машинного обучения, включая Linear Regression, Random Forest и Gradient Boosting.

Экспериментальные результаты показали, что включение показателей, связанных с фосфором, в пространство входных признаков повысило точность прогнозирования. Среди рассмотренных подходов наилучшие результаты продемонстрировала предложенная гибридная нейронная сеть в сочетании с нормализацией StandardScaler, достигнув значения MSE = 7.36.

Полученные результаты подтверждают применимость гибридных архитектур глубокого обучения для задач прогнозирования урожайности в агроклиматических условиях Казахстана и подчеркивают важность интеграции экологических и агрономических факторов в системах точного земледелия.

Ключевые слова: нейронная сеть, урожайность, яровая пшеница, фосфор, прогнозирование.

Introduction. Spring wheat is one of the most important cereal crops in the world. Spring wheat's grains are usually used for food, feed and industrial purposes. There are a lot of factors which influence the yield of spring wheat. These factors can be soil nutrients, conditions of weather, pests and diseases.

Phosphorus is one of the most important nutrients for wheat growth, and the amount of phosphorus in the soil can have a big effect on how much wheat grows [1,2]. Finding the best levels of phosphorus for spring wheat can help farmers get more crops and make better use of fertilizer [3]. Finding the right amount of phosphorus to get the best yield is a difficult task. It depends on many things, like the type of soil, the weather, and the way fertilizers are applied. As a result, it is needed to quickly find out good ways to predict how environmental factors and phosphorus levels will affect the best fertilizer levels for the best yield.

Over the past few years, neural network models have become more popular in agricultural research because they can capture complicated nonlinear relationships between input and output variables. In agriculture, being able to accurately predict crop yield and manage different indicators in the best way can help people make better decisions [4]. In many different agricultural settings, neural network models have been very useful for predicting crop yields [5]. Their use in predicting wheat yields has shown promising results in several studies [6]. These models improve forecasting accuracy and support decision-making processes in precision agriculture. [7]. Creating and using these kinds of predictive models in farming can help make sure that food production is stable enough [8]. The application of various strategies for utilizing neural networks marks an important advancement in modeling agricultural crop production systems [9]. Deep learning and backpropagation algorithms have been used to predict the yields of rice, mustard, corn, and other crops using these methods [10]. Recent research has also shown how important LSTM networks and interpretable models are for supporting field management practices that are based on data and can adapt to changes [11]. Numerous advanced neural network models have exhibited the capacity to effectively extract and integrate features from various data sources for yield prediction across extensive spatial scales [12]. These models have been used on a variety of crops, including wheat and spices, to make predictions more accurate at the district level by using remote sensing and environmental data [13]. Recent studies underscore the efficacy of both conventional and deep neural network methodologies. They include dual-stream and blockchain-integrated models, in regional yield estimation actions [14]. A prominent example is a dual-stream deep learning model designed specifically to improve winter wheat yield predictions at the county level in China [15].

There is still a question about the way to predict how phosphorus will affect the yield of spring wheat. This is very important for making the best use of fertilizer and boosting yields in Kazakhstan. In this research, we delve into the possibility of creating a neural network to predict this effect. Our goal is to give farmers a useful tool for making decisions that will boost wheat production.

Adding phosphorus to wheat fields greatly boosts their yield. Many studies showed the importance of phosphorus in helping wheat grow and making it more productive in different situations [16]. Researchers have also looked at how phosphorus interacts with other farming inputs, like nitrogen and crop rotation systems [17]. More research shows that different levels of phosphorus can have a big effect on both the yield and the overall quality of wheat grains [18].

It can be hard to accurately predict how phosphorus will affect wheat yield, though. Agricultural professionals have to spend a lot of time and money on traditional methods like soil testing and analysis, which may not be very accurate or cover a large area [19]. All of these show how important it is to find new ways to predict how fertilizers will affect yield, like using neural networks, which can make the predictions more accurate and faster. This is especially important because agro-climatic systems are so complex and changeable.

In the study [20], a neural network model was used to predict wheat yield using data from the USA.

The research showed that the model accurately predicted winter wheat yield with an MSE of 12.37. In another study [21], a neural network model was used to predict rice yield using data from India. The research showed that the model accurately predicted rice yield with an accuracy of over 80%.

From a modeling perspective on the impact of phosphorus on wheat yield, several approaches have been proposed. The study [22] investigates created a simple regression model to predict how much wheat would grow based on the amount of phosphorus in the soil and other environmental factors. A decision tree model was used in the study [23] to guess how much wheat would grow based on different soil characteristics, such as phosphorus content.

Table 1 - Similar works

Study	Input data	Method	Indicators
[20]	weather data	a Bi-LSTM model with CNN feature extraction	MSE = 12.37 R^2 = 0.84
[21]	meteorological and soil data	LSTM	R^2 = 0.75 RMSE = 732
[22]	satellite images	Linear regression	Accuracy = 93,5%
[23]	soil and weather data	Gradient Boosting	MAE = 1.48

These studies show that more and more people are interested in using machine learning models to predict how productive farms will be in different types of soil and weather. Nonetheless, limited existing models distinctly isolate the impact of phosphorus on spring wheat yield, especially within the specific weather and soil conditions of Kazakhstan. This gap shows how important it is to create a specific neural network model that can help with analytical fertilizer management and improve phosphorus application strategies for long-term wheat production in the area.

Scientific novelty. The scientific novelty of this study lies in the integration of phosphorus application indicators with meteorological parameters for spring wheat yield forecasting under Kazakhstan-specific agro-climatic conditions. In addition, the study proposes a hybrid Dense-LSTM neural network architecture adapted for agricultural prediction tasks using regional environmental and agronomic data.

Research objective. The objective of this study is to develop and evaluate a hybrid Dense-LSTM neural network model for forecasting spring wheat yield under varying phosphorus application levels and meteorological conditions in Kazakhstan.

Materials and methods. *Dataset description.* During this research, data was obtained from the database of the National Bureau of Statistics of the Republic of Kazakhstan and the National Hydrometeorological Service of Kazakhstan [24, 25].

The dataset used in this study was constructed using meteorological and agricultural data collected from 2000 to 2022 across multiple regions of Kazakhstan. The initial raw dataset included meteorological observations recorded every three hours for 198 locations and contained more than 1.5 million records for each weather parameter.

The collected meteorological variables included soil surface temperature, atmospheric precipitation and air humidity. Since the vegetation period of spring wheat mainly occurs between April and September, only observations corresponding to this agricultural period were selected for further analysis. Yield values were measured in kilograms per hectare (kg/ha). Observations were aggregated at the regional annual level.

Meteorological indicators were aggregated into

monthly average values using MySQL queries and preprocessing procedures in MS Excel. Each location was assigned a unique identifier to integrate meteorological observations with annual phosphorus application indicators and spring wheat yield data.

The final analytical dataset contained 4,115 observations and 22 features, including temporal, meteorological and agronomic variables.

Data preprocessing. Prior to model training, the dataset underwent several preprocessing stages to improve data quality and model stability.

Missing values were identified in precipitation, humidity and phosphorus-related variables. To preserve the dataset structure and reduce information loss, median imputation was applied because the dataset contained outliers and non-normal feature distributions.

Outlier analysis was conducted using interquartile range (IQR) analysis and boxplot visualization. Since some outliers represented actual environmental anomalies rather than measurement errors, experiments were conducted both with and without outlier removal.

Feature normalization was performed using both MinMax normalization and StandardScaler approaches.

The target variable of the study was spring wheat yield, while the input feature space included meteorological parameters, phosphorus application indicators, temporal variables and regional identifiers.

Exploratory data analysis. Exploratory Data Analysis (EDA) was conducted to identify statistical relationships, outliers, missing values and hidden patterns within the dataset prior to neural network training.

The analysis was performed using Python libraries, including Pandas, Matplotlib and Seaborn. Descriptive statistics, correlation analysis, scatter plots and boxplot visualization techniques were applied to investigate the distribution of variables and relationships between meteorological parameters, phosphorus application and spring wheat yield.

EDA procedures included the analysis of missing values, descriptive statistics and statistical relationships between input variables and spring wheat yield.

Neural network architecture. A hybrid neural network architecture combining Dense and Long Short-Term Memory (LSTM) layers was developed for forecasting spring wheat yield under different phosphorus application levels and meteorological conditions.

The input layer receives meteorological parameters, phosphorus application indicators, temporal variables and regional identifiers. The input feature space includes soil surface temperature, precipitation, humidity, phosphorus application level, observation year and regional location identifiers.

The proposed architecture consists of:

- fully connected Dense layers with ReLU activation functions;

- LSTM layers for capturing temporal dependencies in weather observations;

- an output Dense layer for regression-based yield prediction.

The Dense layers were used to model nonlinear relationships between agronomic and meteorological variables, while the LSTM component was applied to capture sequential weather patterns occurring during the spring wheat vegetation period.

The architecture of the proposed neural network model is presented in Figure 1.

Hyperparameter optimization experiments were conducted to determine the optimal architecture configuration. Different numbers of hidden layers, neurons, batch sizes and training epochs were evaluated during the experiments.

The best predictive performance was achieved using:

- three hidden layers;

- neuron configuration 16–16–32;

- batch size = 32;

- 300 training epochs;

- Adam optimizer.

The model was implemented using TensorFlow/Keras framework. The values of hyperparameters are shown in Table 2.

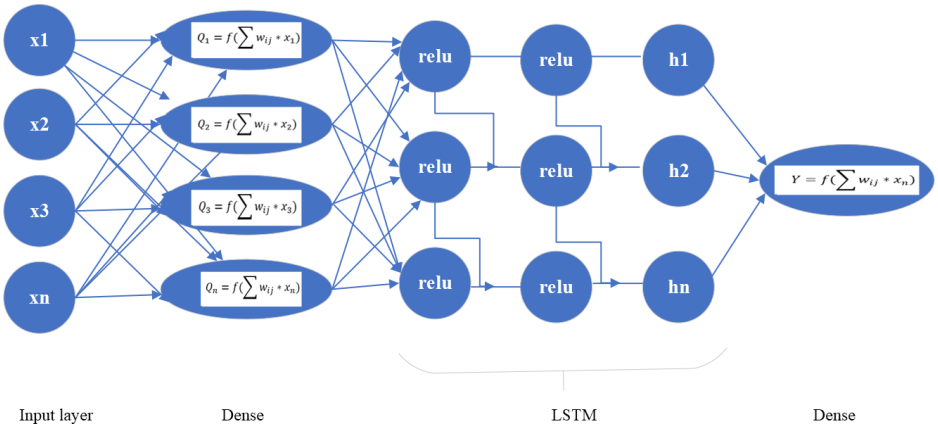


Fig.1 - The architecture of prediction model

Table 2 - Hyperparameter values

Hyperparameter	Value
Hidden layers	3
Neurons	16–16–32
Activation function	ReLU
Optimizer	Adam
Batch size	32
Epochs	300
Loss function	MSE
Framework	TensorFlow/Keras

Model training and validation. To avoid possible temporal leakage, the dataset was divided chronologically rather than randomly. Earlier observations were used for model training, while later observations were reserved for testing and validation.

The dataset was divided into:

- training set (80%);

- testing set (20%).

Model training was performed using the Adam optimization algorithm and Mean Squared Error (MSE) as the loss function.

To evaluate predictive performance, several regression metrics were applied, including:

- Mean Squared Error (MSE);

- Root Mean Squared Error (RMSE);

- Mean Absolute Error (MAE);

- coefficient of determination (R^2).

Comparative experiments were additionally conducted using Linear Regression, Random Forest and Gradient Boosting models to evaluate the effectiveness of the proposed hybrid neural network architecture.

Model performance was evaluated using Mean Squared Error (MSE), which measures the average

squared difference between predicted and actual values.

$$MSE = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^{n} (y_i - \hat{y}_i)^2,$$

where n is number of observations; y_i is the actual value; $\hat{y}_i$ is the predicted value.

Results and discussion. The proposed hybrid neural network model was evaluated through exploratory data analysis, preprocessing experiments and comparative performance assessment against baseline machine learning models.

EDA revealed the presence of 256 missing values in several variables, including precipitation, humidity and phosphorus-related indicators.

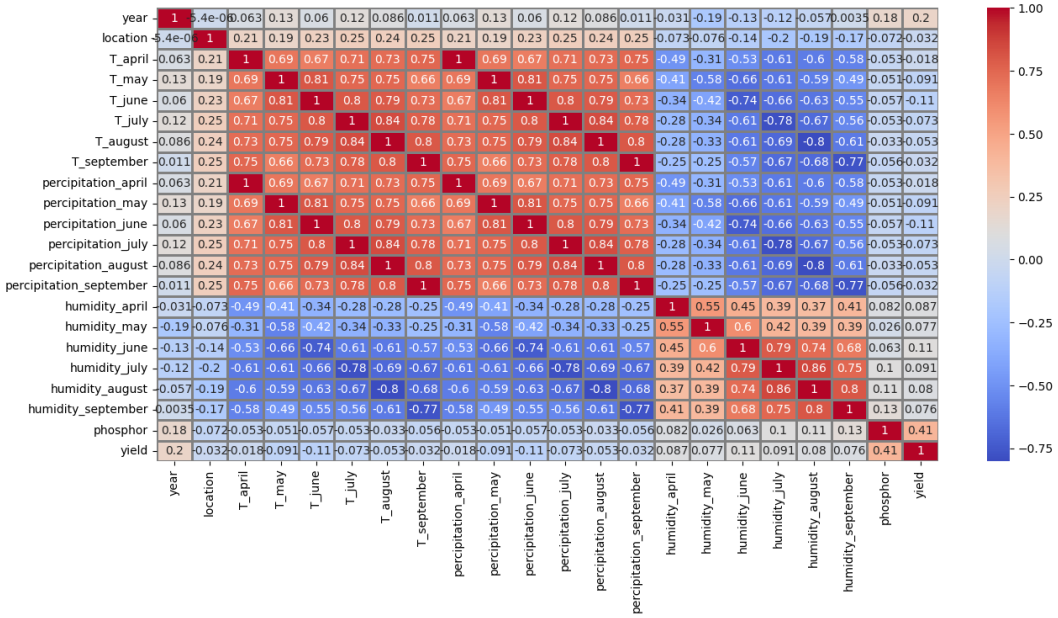


Fig.2 - Correlation Heat-map

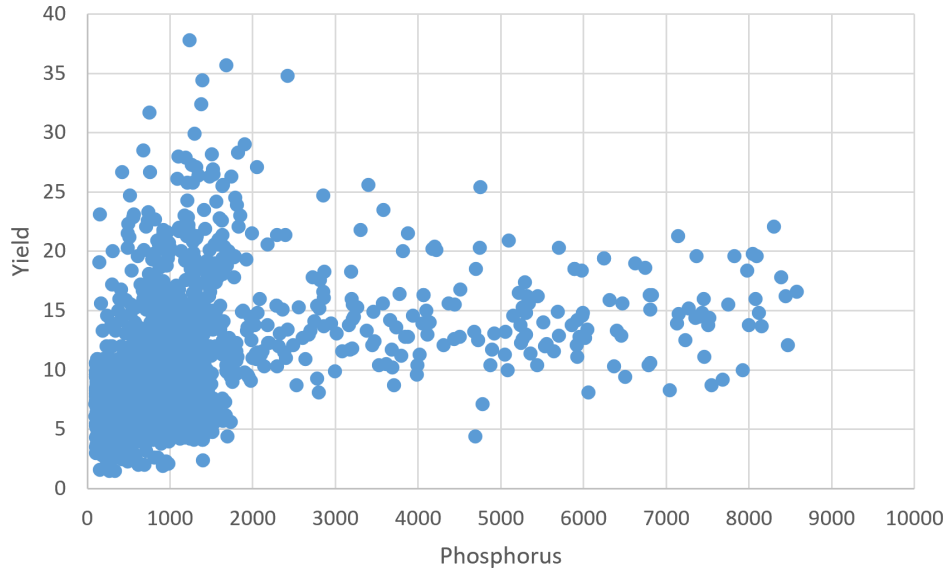


Fig.3 - Scatter plot of phosphorus-yield

Correlation analysis demonstrated a positive relationship between phosphorus application and spring wheat yield, while soil surface temperature and precipitation showed weak negative correlations. Humidity demonstrated a weak positive relationship with yield indicators. The correlation matrix of the input variables and target variable is presented in Figure 2.

Scatter plot analysis additionally confirmed the presence of a positive linear relationship between phosphorus application and crop yield, although several outliers were detected. The relationship between phosphorus application and spring wheat yield is illustrated in Figure 3.

Table 3 summarizes the comparative performance of different preprocessing strategies and prediction algorithms.

The experimental results demonstrated that preprocessing strategies significantly affected prediction quality. Among the evaluated approaches, StandardScaler normalization combined with the proposed Dense-LSTM architecture achieved the best predictive performance with an MSE value of 7.36.

Median imputation also demonstrated stable results across multiple algorithms, while deleting rows with missing values led to information loss and reduced predictive accuracy in several cases.

Outlier removal and outlier replacement with median values did not significantly improve model performance.

Table 3 - Comparative performance of preprocessing strategies and prediction models

Preprocessing strategy	Model	MSE	RMSE	MAE	R^2
Filling with median	Linear Regression	9,84806	3,14	2,42	0,81
	Random Forest	10,12968	3,18	2,47	0,8
	Gradient Boosting	8,44874	2,91	2,18	0,84
	Neural Network	8,15269	2,86	2,09	0,85
Deleting missing data	Linear Regression	27,29678	5,22	4,01	0,49
	Random Forest	18,53486	4,3	3,25	0,66
	Gradient Boosting	18,13979	4,26	3,19	0,67
	Neural Network	11,48342	3,39	2,56	0,77
Deleting only yield’s missing data	Linear Regression	35,79887	5,98	4,53	0,38
	Random Forest	15,12403	3,89	2,97	0,71
	Gradient Boosting	13,83355	3,72	2,81	0,74
	Neural Network	10,89523	3,3	2,43	0,79
Deleting columns with missing data	Linear Regression	37,15834	6,1	4,61	0,35
	Random Forest	14,35203	3,79	2,88	0,73
	Gradient Boosting	13,63549	3,69	2,77	0,75
	Neural Network	8,91258	2,99	2,21	0,83
MinMax normalization	Linear Regression	27,29678	5,22	4,01	0,49
	Random Forest	18,54364	4,31	3,26	0,66
	Gradient Boosting	18,13979	4,26	3,19	0,67
	Neural Network	7,7851	2,79	2,04	0,86

StandardScaler normalization	Linear Regression	27,29678	5,22	4,01	0,49
	Random Forest	18,08122	4,25	3,17	0,68
	Gradient Boosting	18,13979	4,26	3,19	0,67
	Neural Network	7,35689	2,71	1,98	0,88
Deleting outliers	Linear Regression	26,99051	5,2	3,96	0,5
	Random Forest	18,1039	4,25	3,18	0,67
	Gradient Boosting	19,08132	4,37	3,29	0,64
	Neural Network	12,12368	3,48	2,63	0,76
Outlier replacement with median	Linear Regression	26,76791	5,17	3,93	0,51
	Random Forest	18,65327	4,32	3,24	0,66
	Gradient Boosting	18,15642	4,26	3,2	0,67
	Neural Network	13,98562	3,74	2,81	0,73

Among the evaluated approaches, StandardScaler normalization combined with the proposed hybrid neural network achieved the best overall predictive performance across all evaluation metrics.

Comparative experiments demonstrated that StandardScaler provided more stable results for neural network training and achieved the lowest prediction error.

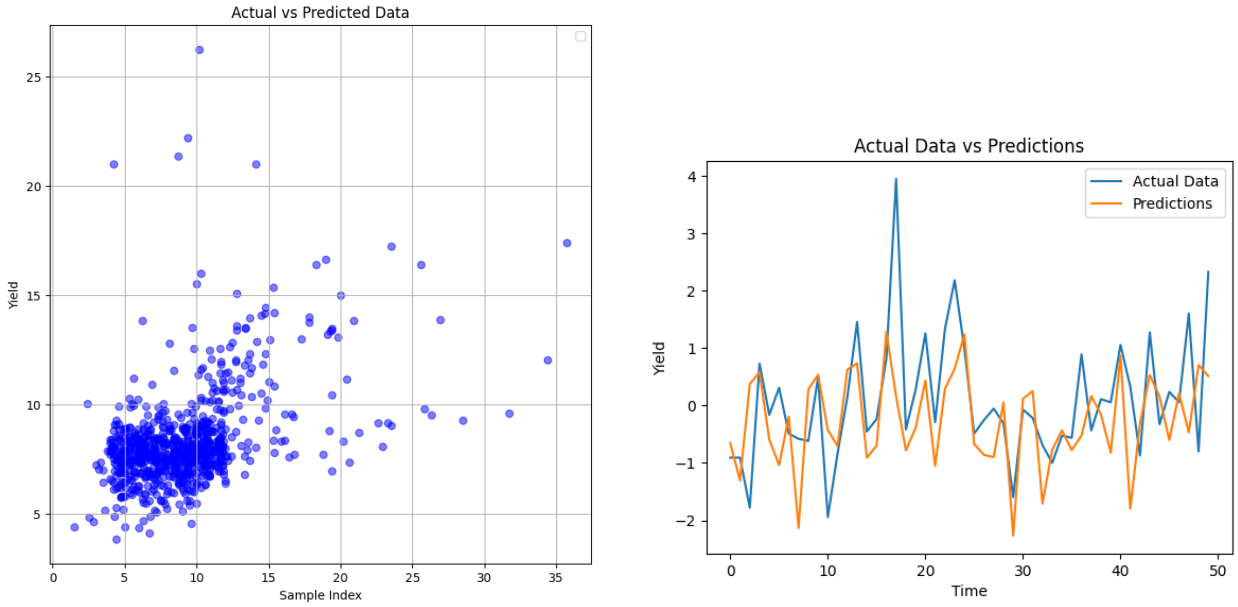


Fig.4 - Plot of predicted and actual yields

Figure 4 illustrates the relationship between predicted and actual spring wheat yield values for the test dataset. The predicted values generally follow the observed yield dynamics, indicating that the proposed hybrid neural network successfully captured the main nonlinear relationships between meteorological conditions, phosphorus application and crop productivity.

Residual analysis demonstrated the absence of strong systematic prediction bias. Most prediction

errors remained within acceptable deviation ranges for agricultural forecasting tasks.

The obtained results demonstrated that incorporating phosphorus application indicators into the input feature space improved the forecasting accuracy of the proposed hybrid neural network model for spring wheat yield prediction.

Although direct comparison with previous studies is limited due to differences in datasets, crops, environmental conditions and evaluation scales, the proposed approach demonstrated stable performance under Kazakhstan-specific agricultural conditions.

The hybrid Dense-LSTM architecture also demonstrated advantages over traditional machine learning approaches when modeling nonlinear interactions between environmental and agronomic variables.

Preprocessing procedures, including feature standardization and median-based missing value imputation, contributed to improved model stability and predictive consistency.

These findings demonstrate the applicability of hybrid Dense-LSTM neural network architectures for agricultural forecasting tasks under Kazakhstan-specific agro-climatic conditions. The obtained results additionally indicate the importance of incorporating regional environmental characteristics when developing predictive models for precision agriculture applications.

Conclusion. This study presented a hybrid Dense-LSTM neural network model for forecasting spring wheat yield under varying phosphorus application levels and meteorological conditions in Kazakhstan. The proposed approach integrated meteorological indicators, phosphorus application data and regional agricultural observations collected between 2000 and 2022.

Experimental results demonstrated that incorporating phosphorus-related indicators into the input feature space improved forecasting accuracy and predictive stability. The lowest prediction error was achieved using StandardScaler normalization combined with the proposed hybrid neural network architecture, resulting in an MSE value of 7.36.

The obtained results demonstrated the applicability of hybrid neural network architectures for agricultural forecasting tasks under Kazakhstan-specific agro-climatic conditions. In addition, the study highlighted the importance of preprocessing strategies, including feature normalization and median-based missing value imputation, for improving predictive consistency in agricultural datasets.

Despite the promising results, the study has several limitations, including the absence of soil chemistry indicators, remote sensing data and additional environmental variables that may influence crop productivity. Future research may focus on expanding the model to additional crops, incorporating satellite and soil monitoring data, and evaluating model performance across different agro-ecological zones of Central Asia.

References

1. Ashley K., Cordell D., Mavinic D. A brief history of phosphorus: From the philosopher’s stone to nutrient recovery and reuse// Chemosphere. -2011. -Vol.84(6). -P. 737-746. DOI 10.1016/j.chemosphere.2011.03.001.

2. Amtmann A., Hammond J. P., Armengaud P., White P. J. Nutrient sensing and signalling in plants: Potassium and phosphorus//Advances in Botanical Research. -2005. -Vol.3. -P.209-257. DOI 10.1016/S0065-2296(05)43005-0.

3. Fiuzi A.H., Hassanzadeh M., Madani A. (2023). Effects of iron, phosphorus and microbial inoculum on yield and quality of the grain of wheat (Triticum aestivum L.)// Bangladesh Journal of Botany. -2023. -Vol.52(1). -P.171-178. DOI 10.3329/bjb.v52i1.65248.

4. Wang Y., Shi W., Wen T. Prediction of winter wheat yield and dry matter in North China Plain using machine learning algorithms for optimal water and nitrogen application// Agricultural Water Management. -2023. -Vol.277:108140. DOI 10.1016/j.agwat.2023.108140.

5. Eskandari M., Zeinadini A., Seyedmohammadi J., Navidi M. Estimating quantity of date yield using soil properties by regression and artificial neural network// Communications in Soil Science and Plant Analysis. -2023. -Vol.54(1). -P.36–47. DOI 10.1080/00103624.2022.2109661.

6. Aubakirova G., Ivel V., Gerassimova Y., Moldakhmetov S., Petrov P. Application of artificial neural network for wheat yield forecasting// Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. -2022. -Vol.3(4). -P.31-39. DOI 10.15587/1729-4061.2022.259653.

7. Meeradevi K., Sanjana V., Mundada M.R. Decision support system to agronomically optimize crop yield based on nitrogen and phosphorus// 2019 4th International Conference on Computational Systems and Information Technology for Sustainable Solution (CSITSS). -2019. – Vol.4. -P.104-109. DOI 10.1109/CSITSS47250.2019.9031054.

8. Sarr A.B., Sultan B. Predicting crop yields in Senegal using machine learning methods// International Journal of Climatology. -2023. -Vol.43(4). -P. 1817–1838. DOI 10.1002/joc.7947.

9. Zhou S., Xu L., Chen N. Rice yield prediction in Hubei Province based on deep learning and the effect of spatial heterogeneity// Remote Sensing. -2023. -Vol. 15(5):1361. DOI 10.3390/rs15051361.

10. Putro S.S., Syakur M.A., Rochman E.M.S., Musfirotummamlu' ah M.A., Rachmad A. Prediction of corn crop yield using backpropagation neural network algorithm// AIP Conference Proceedings. -2023. -Vol.2679(1). DOI 10.1063/5.0127695.

11. Arya M., Sastry H.G. Effective LSTM neural network with Adam optimizer for improving frost prediction in agriculture data stream// Communications in computer and information science. -2023. -P.3-17. DOI 10.1007/978-3-031-27034-5_1.

12. Morales G., Sheppard J.W., Hegedus P.B., Maxwell B.D. Improved yield prediction of winter wheat using a novel two-dimensional deep regression neural network trained via remote sensing// Sensors. -2023. -Vol.23(1): 489. DOI 10.3390/s23010489.

13. Srivastava A.K., Safaei N., Khaki S., Lopez G., Zeng W., Ewert F., Rahimi J. Winter wheat yield prediction using convolutional neural networks from environmental and phenological data// Scientific Reports. -2022. -Vol.12(1):3215. DOI 10.1038/s41598-022-06249-w.

14. Tang X., Liu H., Feng D., Zhang W., Chang J., Li L., Yang L. Prediction of field winter wheat yield using fewer parameters at middle growth stage by linear regression and the BP neural network method// European Journal of Agronomy. -2022. -Vol.141:126621. DOI 10.1016/j.eja.2022.126621.

15. Huang H., Huang J., Feng Q., Liu J., Li X., Wang X., Niu Q. Developing a dual-stream deep- learning neural network model for improving county-level winter wheat yield estimates in China// Remote Sensing. -2022. -Vol.14(20):5280. DOI 10.3390/rs14205280.

16. Mumtaz M.Z., Aslam M., Jamil M., Ahmad M. Effect of different phosphorus levels on growth and yield of wheat under water stress conditions// Journal of Environment and Earth Science. – 2014. -Vol.4(19). -P.23-30.

17. Tudor V.C., Stoicea P., Chiurciu I.A., Soare E., Iorga A.M., Dinu T.A., David L., Micu M.M., Smedescu D.I., Dumitru E.A. The use of fertilizers and pesticides in wheat production in the main European countries// Sustainability. -2023. -Vol.15(4):3038. DOI 10.3390/su15043038.

18. Ali A., Asif M., Adnan M., Aziz A., Hayyat M.S., Saleem M.W., et al. Effect of different levels of phosphorus on growth, yield and quality of wheat (Triticum aestivum L.)// International Journal of Botany

Studies. -2020. -Vol.5(3). -P.64-68.

19. Vrchota J., Pech M., Švepešová I. Precision agriculture technologies for crop and livestock production in the Czech Republic// Agriculture. -2022. -Vol.12(8): 1080. DOI 10.3390/agriculture12081080.

20. Dai C., Huang Y., Ni M., Liu X. Wheat yield forecasting using regression algorithms and neural network// 2020 International Conferences on Internet of Things (iThings) and IEEE GreenCom, IEEE Cybermatics, and Smart Data. -2020. -P.129–134. DOI 10.1109/iThings- GreenCom-CPSCom-SmartData-Cybermatics50389.2020.00038.

21. Wang X., Huang J., Feng Q., Yin D. Winter wheat yield prediction at county level and uncertainty analysis in main wheat-producing regions of China with deep learning approaches// Remote Sensing. -2020. -Vol.12(11):1744. DOI 10.3390/rs12111744.

22. Kaya Yu., Polat N. A linear approach for wheat yield prediction by using different spectral vegetation indices// International Journal of Engineering and Geosciences. -2023. -Vol.8(1). -P. 52-62. DOI 10.26833/ijeg.1035037.

23. Kumar D., Kumar Y., Gulati A., Kukreja V. Wheat crop yield prediction using machine learning//2022 International Conference on Data Analytics for Business and Industry (ICDABI). -2022. -P.433-437. DOI 10.1109/ICDABI56818.2022.10041621.

24. Stat.gov.kz Website of the State Department of Statistics of the Republic of Kazakhstan. - 2023. URL: https://taldau.stat.gov.kz/en/Industry/GetIndustryByID/701185.- Date of access: 18.01.2026.

25. Kazhydromet.kz Website of the National Hydrometeorological Service of the Republic of Kazakhstan. -2023. URL: https://www.kazhydromet.kz/en/meteo_db.- Date of access:18.01.2026.

Information about authors

Sharipova S.Ye. - PhD, Astana IT University, Astana, Kazakhstan, e-mail: saltanat.sharipova@astanait.edu.kz;

Akanova A.S.- PhD, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan,

e-mail:akerkegansaj@mail.ru;

Ospanova N.N. - candidate of pedagogical sciences, Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan,

e-mail:nazira_n@mail.ru.

Сведения об авторах

Шарипова С.Е. - PhD, Astana IT University, Астана, Қазақстан, e-mail:saltanat.sharipova@astanait.edu.kz;

Аканова А.С. - PhD, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: akerkegansaj@mail.ru;

Оспанова Н.Н. - педагогика ғылымдарының кандидаты Toraighyrov University, Павлодар, Қазақстан, e-mail: nazira_n@mail.ru.

ҒТАМР 50.49.33, 73.31.17 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1582**

АСТАНА-КӨКШЕТАУ АҚЫЛЫ ЖОЛЫНДАҒЫ ҚОЗҒАЛЫС ҚАУІПСІЗДІГІН АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ТАЛДАУ

[1]Д. Жамангарин, [2]У. Жунисова [3]К. Акишев, [4]Г. Изтелеуова

[1]Л. Гумилев атындағы Евразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан,
[2]Медицина Университеті Астана, Қазақстан,
[3]К. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[4]Қазақстанның инновациялық және телекоммуникациялық жүйелер университеті, Орал, Қазақстан

Корреспондент-автор: akmail04cx@mail.ru

Зерттеудің өзектілігі дәстүрлі апаттық статистика қауіпті аймақтар мен ықтимал тәуекелдерді уақтылы анықтауға мүмкіндік бермейтін ақылы автомобиль жолдарындағы қозғалыстың алдын алу қауіпсіздігін арттыру қажеттілігіне байланысты. Жұмыста көлік құралдарының траекторияларын микроскопиялық талдауды қолдана отырып, ақы алу аймағындағы Астана–Көкшетау ақылы автожолының учаскесі қарастырылады.

Зерттеудің әдістемелік негізіне бейне деректерді өңдеу, жеке траекторияларды қалпына келтіру, ұзындығы 360 м учаскені 12 тең сегменттерге бөлу және көлік қақтығыстарының индикаторларын есептеу (TTC, eTTC, DT) кіреді. Анықталған заңдылықтардың статистикалық маңыздылығы параметрлік емес критерийлер мен логиттік модельдеу көмегімен бағаланды.

Сандық нәтижелер көлік құралдарының 48 мыңға жуық траекториясын талдауға негізделген, олардың шеңберінде 1 286 ықтимал қауіпті өзара іс-қимыл анықталды, оның 32% - ы TTK-ның 4 С-тан төмен сыни мәндерімен сипатталады. Сапалы талдау қақтығыс жағдайларының ETC/MTC қайта құру және ағындарды бөлу аймақтарымен тұрақты байланысын көрсетті.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы ақылы жол учаскелерінің қауіпсіздігін бағалау үшін микроскопиялық траекториялық деректерді біріктіру және кеңістіктік сегменттеу болып табылады. Нәтижелердің практикалық маңыздылығы оларды ақы алу схемаларын оңтайландыру және адаптивті қозғалысты басқару жүйелерін әзірлеу үшін пайдалану мүмкіндігі болып табылады. Әрі қарайғы зерттеулерді нақты уақыттағы қақтығыстарды болжаудың онлайн-аналитикасы мен Интеллектуалды алгоритмдерін енгізуге бағыттаған жөн.

Түйін сөздер: жол қозғалысын автоматтандыру, есептеу талдауы, микроскопиялық траекториялар, көлік қауіпсіздігі, Интеллектуалды көлік жүйелері, бейне деректер, ағынды сегментациялау

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ПЛАТНОЙ ДОРОГЕ АСТАНА–КОКШЕТАУ

[1]Д. Жамангарин, [2]У. Жунисова [3]К. Акишев, [4]Г. Изтелеуова

[1]Евразийский национальный университет им. Л. Гумилева, Астана, Казахстан,
[2]Медицинский университет, Астана, Казахстан,
[3]Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
[4]Казахстанский университет инновационных и телекоммуникационных систем, Уральск, Казахстан,
e-mail: akmail04cx@mail.ru

Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения превентивной безопасности движения на платных автомобильных дорогах, где традиционная аварийная статистика не позволяет своевременно выявлять опасные зоны и потенциальные риски. В работе рассматривается участок платной автодороги Астана–Кокшетау в зоне взимания платы с применением микроскопического анализа траекторий транспортных средств.

Методическая основа исследования включает обработку видеоданных, восстановление индивидуальных траекторий движения, сегментацию участка протяжённостью 360 м на 12 равных сегментов и расчёт индикаторов транспортных конфликтов (TTC, eTTC, DT). Статистическая значимость выявленных закономерностей оценивалась с использованием непараметрических критериев и логит-моделирования.

Количественные результаты основаны на анализе около 48 тыс. траекторий транспортных средств, в рамках которых выявлено 1 286 потенциально опасных взаимодействий, из них 32 % характеризуются критическими значениями TTC ниже 4 с. Установлено, что максимальная плотность конфликтов формируется в начальных и конечных сегментах зоны взимания платы. Качественный анализ показал устойчивую связь конфликтных ситуаций с зонами перестроения и разделения потоков ETC/MTC.

Научная новизна работы заключается в интеграции микроскопических траекторных данных и пространственной сегментации для оценки безопасности платных дорожных участков. Практическая значимость результатов состоит в возможности их использования для оптимизации схем взимания платы и разработки адаптивных систем управления движением. Дальнейшие исследования целесообразно направить на внедрение онлайн-аналитики и интеллектуальных алгоритмов прогнозирования конфликтов в реальном времени.

Ключевые слова: автоматизация дорожного движения, вычислительный анализ, микроскопические траектории, транспортная безопасность, интеллектуальные транспортные системы, видеоданные, сегментация потока

AUTOMATED TRAFFIC SAFETY ANALYSIS ON THE ASTANA–KOKSHETAU TOLL ROAD

[1]D. Zhamangarin, [2]U. Zhunisova, [3]K. Akishev✉, [4]G. Izteleuova

[1]L. Gumilyov The Eurasian National University named after, Astana, Kazakhstan,
[2]Medical University of Astana, Kazakhstan,
[3]K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business named after, Astana, Kazakhstan,
[4]Kazakhstan University of innovation and telecommunications systems, Uralsk, Kazakhstan,
e-mail:akmail04cx@mail.ru

The relevance of the study is due to the need to improve preventive traffic safety on toll roads, where traditional emergency statistics do not allow timely identification of dangerous areas and potential risks. The paper considers a section of the Astana–Kokshetau toll highway in the toll collection area using microscopic analysis of vehicle trajectories.

The methodological basis of the study includes video data processing, restoration of individual movement trajectories, segmentation of a 360-meter section into 12 equal segments and calculation of traffic conflict indicators (TTC, eTTC, DT). The statistical significance of the identified patterns was assessed using nonparametric criteria and logit modeling.

The quantitative results are based on an analysis of about 48,000 vehicle trajectories, which revealed 1,286 potentially dangerous interactions, of which 32% are characterized by critical TTC values below 4 C. It is established that the maximum density of conflicts is formed in the initial and final segments of the toll zone. A qualitative analysis showed a stable relationship between conflict situations and zones of realignment and separation of ETC/MTC flows.

The scientific novelty of the work is the integration of microscopic trajectory data and spatial segmentation to assess the safety of toll road sections. The practical significance of the results lies in the possibility of using them to optimize charging schemes and develop adaptive motion control systems. It is advisable to focus further research on the implementation of online analytics and intelligent algorithms for predicting conflicts in real time.

Keywords: automation of traffic, computational analysis, microscopic trajectories, transport safety, intelligent transport systems, video data, flow segmentation

Кіріспе. Жолақтар бүкіл әлемде тиімді және ұтымды жылдам қозғалысты қамтамасыз ету үшін кеңінен қолданылады. Мысалы, АҚШ-та, Флорида штатында соңғы он жылда жолақ ұзындығы екі есеге жуық өсті [1].

Қытайда 2024 жылдың соңына қарай автомобиль жолдарының жалпы ұзындығы 271 100 км-ге жетті және елдегі жол қозғалысы саясатына сәйкес автомобиль жолдарының шамамен 95% - ы ақылы. Мұндай жолдар қызмет көрсетудің жоғары деңгейін және жоғары сапалы жол төсемін ұсынады, жанармай құю станциялары жүргізушілерге жоғары қызмет көрсетеді [2].

Қазақстанда ақы алу пункттері ақылы автомагистральдарда орналасқан. Жол ақысын төлеудің әртүрлі әдістері бар қолмен және электронды.

Бүкіл әлемде ақылы автомобиль жолдарымен жүру үшін ақы төлеуді жеңілдету үрдісі байқалады-бұл жүргізушілерге жайлылықты қамтамасыз етеді, кептелістерді, төтенше жағдайларды болдырмайды, қозғалыс трафигін арттырады. Көлік ағындарының тиімділігі туралы зерттеулер [3-14] еңбектерінде келтірілген, бұл көлік ағындарын бақылауды жүзеге асыруда және төтенше жағдайлардың алдын алуда ғылыми тәсілдерді қолданудың өзектілігі мен маңыздылығын көрсетеді.

Бүгінгі таңда электронды ақы төлеу жүйесінің жолақтарын пайдалану өткізу қабілеттілігін, жол станцияларына қызмет көрсету деңгейін арттырады және көптеген елдерде белсенді түрде алға жылжуда.

Сонымен қатар, электронды ақы алу жүйесі бар көлік құралдарының үлесі шектеулі, өйткені байланыс жүйелерімен (мобильді, спутниктік) қамтуды қамтамасыз ету барлық жерде мүмкін емес және қолмен және электронды ақы алу жүйесінің жолақтарының тіркесімі қолданылады.

Сур.1 Астана-Көкшетау тас жолының өткізу пункттері (ПОҚ) көрсетілген, онда жол ақысын қолмен алу және электронды алу жүйесінің жолақтары орналасқан.

Жүргізушілер ақы алу формасын таңдау үшін көлік құралын баяулатады немесе толығымен тоқтатады. Ол сондай-ақ гибридті ақы төлеу станциясының жобасын бейнелейді, онда қолмен ақы төлеу жүйесі және электронды ақы төлеу жүйесі бар автомобильдер жол жүру станциясының жоғарғы жағында бір-бірінен бөлінген. Электрондық ақы төлеу жүйесі бар көліктер ашық жолда кідіріссіз жүре алады.

Гибридті төлем түрі көлік ағынының өткізу қабілетін арттырады, бірақ соқтығысу қаупін арттыруы мүмкін.

Сур.2 бөлу аймағында еркін жолақты таңдау үшін көлік құралдарының жылдамдығын бәсеңдету қажет.

Жол кеңістігінің шектеулері және жолақтардың орналасуының әртүрлі конфигурациялары жүргізушілерді өткір маневрлер жасауға және жиі кросс-әрекеттерді орындауға мәжбүр етеді, бұл өз кезегінде соқтығысу қаупін айтарлықтай арттырады. Қолмен зарядтау жүйесі және электронды ақы төлеу жүйесі бар аралас көлік ағыны өте күрделі және жолақтар белгіленбеген, ретсіз және болжау мүмкін емес аймақтардағы жүргізушілердің траекториялары. Осыған байланысты мұндай өткелдер көлік жүргізушілеріне қауіп төндіретін орын болып табылады.

Қозғалыс бағытына байланысты зерттеу аймағы үш бөлікке бөлінеді: негізгі жолақтар, ажырату аймағы және ақы алу жолақтары. Бұл ретте электрондық ақы алу жүйесінің жолақтары сол жақ шетінде орналасқан, ал қолмен ақы алу оң жақтағы жолақтар бойынша өтеді. Экстремалды ақы тек жүк көліктері мен автобустарға арналған.

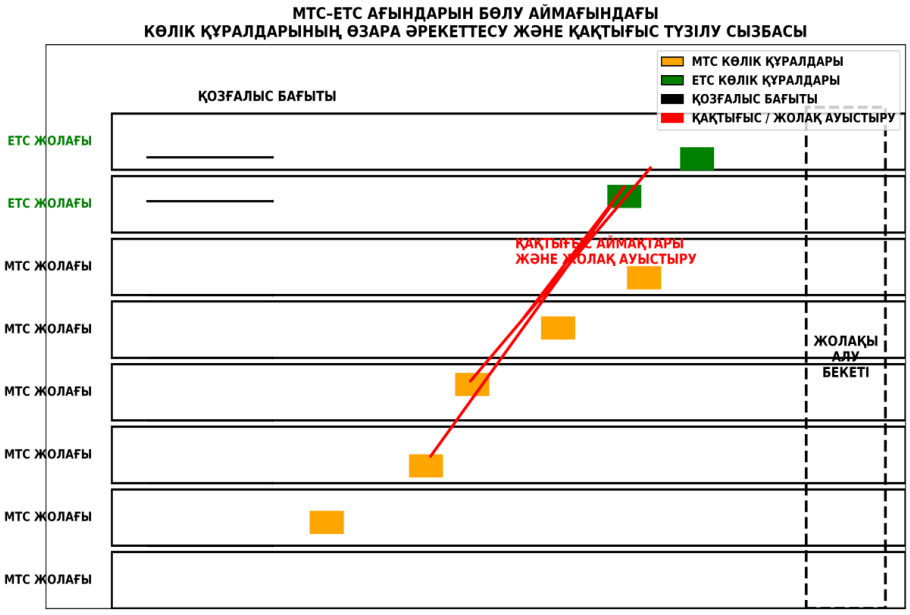
Іс жүзінде электронды ақы төлеу жүйесінің жолақтары қолмен ақы алу жолақтарынан аз.

Бақылаулар көрсеткендей, автомобильдер көбінесе жолақтар бойымен қозғалыс белгілері орнатылған жолақтан ауытқып кетеді.

Ұсынылған зерттеуде алшақтық аймағы ретінде жолақпен белгіленген және белгіленбеген кеңейтілген бөліктер қолданылады.



1-сурет. Астана-Көкшетау ақылы жолымен жол жүру ақысын төлеудің гибридті нысаны



2-сурет. Жолақтармен жүру және ықтимал қақтығыстардың пайда болуы

Ақы алу аймағының үлкен ұзындығына байланысты көлік құралдарын қайта құру процесі біртіндеп жүреді және апат қаупінің деңгейі кіреберісте, орталық бөлікте және шығуда өзгеруі мүмкін.

Алдыңғы зерттеулер бұл аймақты егжей-тегжейлі кеңістіктік талдаусыз жалпылама түрде қарастыруға бейім болды. Сондықтан жекеленген учаскелер бойынша көлік қауіпсіздігін салыстырмалы бағалау қажет.

Зерттеудің мақсаты - ағындардың бөліну аймағында көлік қақтығыстарының қалыптасуының кеңістіктік заңдылықтарын анықтау және эксплуатациялық және мінез-құлық факторларының соқтығысу қаупінің деңгейіне әсерін сандық бағалау.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу ақы алу пунктіне кіре берістегі ағындарды ажырату аймағындағы көлік қауіпсіздігін кешенді бағалауға бағытталған. Соқтығысу қаупі соқтығысуға дейінгі уақыт индикаторы (TTC) арқылы бағаланды. Төлем түрінің, таңдалған жолақтың және көлік құралының кеңістіктік жағдайының тәуекел деңгейіне әсерін салыстырмалы талдау жүргізілді.

Көлік құралдарының сипаттамаларына, бөлу аймағының параметрлеріне және көлік ағынының көрсеткіштеріне сүйене отырып, тәуекел факторларын сандық бағалау үшін кездейсоқ параметрлердің логистикалық моделі құрылды. Нәтижелер қауіптілігі жоғары негізгі аймақтарды анықтауға мүмкіндік береді және автомобиль жолдарындағы қозғалыс қауіпсіздігін жақсарту шараларын әзірлеуге негіз болады.

Далалық зерттеу Астана–Көкшетау автожолында (Батыс бағыт) ақы алу пунктінің ағындарын ажырату аймағында орындалды сур.3. Зерттелетін учаскенің ұзындығы 360 м құрайды, оның ішінде белгіленген бөлу аймағының 60 м және ені 15-тен 65 м-ге дейін кеңейетін бөліктің 300 м.аймақ шегінде төрт негізгі жолақ 12 төлем жолағына бөлінеді (3 ETC және 6 MTC), бұл қарқынды қайта құру маневрлерімен және қақтығыс әлеуетінің жоғарылауымен бірге жүреді. Жүк көліктері оң жақтағы төлем жолақтарын, ал қалғандары жеңіл көліктерді пайдаланады.

Бейне деректері 4K (3840×2160) камерамен жабдықталған DJI Mini 3 Pro ұшқышсыз ұшу аппаратының көмегімен алынады. Түсірілім 2025 жылдың 31 мамырында шамамен 200 м биіктіктен 1,5 сағат бойы жүргізілді; талдау үшін қозғалыс қарқындылығының жоғарылауы кезеңінде 50 минуттық фрагмент таңдалды. Тік түсірілім геометриялық калибрлеу мен координаталық түрлендіру қателіктерін азайтуға мүмкіндік берді. Бейнематериал негізінде көлік құралдарының микроскопиялық траекториялары қалпына келтірілді және ағынның эквивалентті сағаттық қарқындылығы есептелді.



3-сурет. Ақылы жолдардың әртүрлі аймақтары

Координаттарды түрлендіру үш өлшемді рельефтік координаттар жүйесін матрицалық түрлендіруге негізделген екі өлшемді бейне кадр кеңістігімен салыстыру арқылы жүзеге асырылды. Бейнежазбада анықталған және жергілікті жерде белгілі координаттары бар сегіз стационарлық бақылау нүктелері тірек ретінде пайдаланылды, бұл калибрлеудің тұрақтылығын арт-

тыруға мүмкіндік берді.

Дәлдікті тексеру үшін жол бетінде белгілі координаттары бар қосымша 20 кездейсоқ нүкте таңдалады. Жуықтау нәтижелері бойынша нақты және қалпына келтірілген координаттар арасындағы орташа ауытқу 2,5 м-ден аспайтын оңтайлы түрлендіру моделі алынды, зерттелетін учаскенің ұзындығын (360 м) ескере отырып, бұл қателік жанжал индикаторларын есептеу үшін рұқсат етіледі.

Айта кету керек, кездейсоқ анықтау және бақылау қателіктері бастапқы нүктелердің нақты қозғалыс траекториясына қатысты шамалы шашырауына әкеледі.

Көлік қақтығыстарын бағалау үшін көлік құралдарының кеңістіктік-уақыттық жақындық параметрлеріне негізделген индикаторлар қолданылады. Бірқатар зерттеулер жанжалдың әртүрлі көрсеткіштерін және олардың жол қауіпсіздігін талдауға қолданылуын салыстырды. Олардың ішінде ең көп таралған және ақпараттық көрсеткіш соқтығысуға дейінгі уақыт (time to Collision, TTC) болып табылады, бұл көлік құралдары арасындағы ықтимал өзара әрекеттесу қаупін сандық түрде анықтауға мүмкіндік береді.

Т уақытында артқы көлік құралы үшін TTC мәні I қозғалатын көлік құралының алдында (i−1) олардың арасындағы ағымдағы қашықтықтың салыстырмалы жақындау жылдамдығына қатынасы ретінде анықталады формула 1:

$$TCC_i(t) = \begin{cases} \dfrac{\left(X_i^{-1}(t) - X_i(t) - L\right)}{\left(V_i(t) - V_i^{-1}(t)\right)} & егер V_i(t) > V_{i-1}(t), \\ \infty & егер V_i(t) \le V_{i-1}(t) \end{cases} \quad (1)$$

мүнда

Xi(t) - көлік құралының бойлық жағдайы *i* уақыт *t, Vi (t)* - оның қазіргі кездегі жылдамдығы, ал *L* - көлік құралының тиімді ұзындығы (немесе ең аз қауіпсіз қашықтық).

1 кестеде, Астана – Көкшетау тас жолында ақы алу пунктінің алдында зерттелетін учаскенің негізгі бейнетүсірілім параметрлері мен геометриялық сипаттамаларын қамтиды.

1-кесте. Бейне түсіру параметрлері және зерттелетін учаскенің геометриялық сипаттамалары

Параметр	Мағынасы	Параметр	Мағынасы	Параметр	Мағынасы
Түсіру күні	31.05.2025	Бейне ұзақтығы	50 мин	Рұқсат	4K
Биіктігі Ұшқышсыз ұшу аппараттары	≈200 м	Учаскенің ұзындығы	360 м	Бағыт	Астана → Кокшетау
ЕТСжолақтар	3	МТС жолақтар	9	Барлық жолақтар	12

Кестеде.1 түсірілім күні мен ұзақтығы, бейне деректердің ажыратымдылығы, ұшқышсыз ұшу аппараттарының ұшу биіктігі, ағындарды бөлу аймағының ұзындығы, қозғалыс бағыты, сондай-ақ электронды және қолмен зарядтау жолақтарының саны көрсетілген. Бұл кестелер эксперименттің дұрыстығын, сайттың кеңістіктік сегментациясын және талдау нәтижелерінің салыстырмалылығын негіздеу үшін қолданылады.

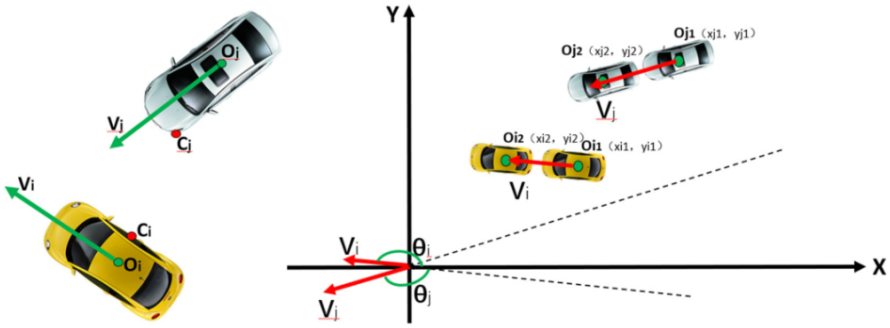
Нәтижелер және талқылау. Анықтамаға сәйкес, TTC көрсеткішінің мәні неғұрлым үлкен болса, ықтимал жанжалдың алдын алу үшін жүргізуші соғұрлым көп уақыт алады, бұл жол-көлік оқиғасының ықтималдығын азайта-

ды. Керісінше, TTC мәнінің төмендеуі қауіптілік дәрежесінің жоғарылауын және соқтығысу қаупінің жоғарылауын көрсетеді.

Соқтығысудың дәстүрлі уақыты (TTC) жол қауіпсіздігін зерттеуде кеңінен қолданылады, бірақ оны есептеу, әдетте, көлік құралдарының бір жолақ бойынша қозғалысын немесе траекториялардың белгіленген бұрышпен қиылысуын болжауға негізделген. Ақы алу пунктінің ағындарын ажырату аймағы жағдайында бұл болжамдар орындалмайды, өйткені көлік құралдары көп вариантты қайта құру маневрлерін жасайды және ерікті бұрыштарда, әсіресе белгіленбеген учаскелерде жақындауы мүмкін.

Осыған байланысты, осы зерттеу қозғалыс траекторияларын екі өлшемді талдауға негізделген қақтығысқа дейінгі кеңейтілген уақыт көрсеткішін пайдаланды. Бұл көрсеткіш TTC-нің жалпыланған түрі болып табылады және жазықтықтағы көлік құралдарының салыстырмалы қозғалысын ескеруге мүмкіндік береді.

Векторлық сипаттама сур.4, O_i және *Oj* көлік орталықтарының позицияларын, олардың V_i және *Vj* жылдамдықтарын, *Dij* орталықтары арасындағы қашықтықты, сондай-ақ ең жақын *Ci* және C_J өзара әрекеттесу нүктелерінің координаттарын қамтиды.



4 - сурет. Жақындаған кезде екі көліктің позицияларын суреттеу

Dij шамасы қазіргі уақытта екі көліктің ең жақын нүктелері арасындағы ең аз қашықтық ретінде анықталады.

Маневр жасау процесінде көлік құралдары үздіксіз қозғалады, уақыт өте келе кеңістіктік орнын біртіндеп өзгертеді. Соқтығысу дененің контуры бойымен жүретіндіктен, бастапқы байланыс екі көліктің ең жақын перифериялық нүктелері арасында пайда болады. Осыған байланысты, жанжалды жағдайды бағалау кезінде олардың арасындағы ең аз қашықтықты ескерген жөн. Екі көліктің ең жақын нүктелері арасындағы қашықтық dij шамасымен анықталады формула 2:

$$d_{ij}^2 = \|C_i - C_j\|^2 = (C_i - C_j)^T (C_i - C_j) \quad (2)$$

Содан кейін (2) уақыт бойынша дифференциация жасалады, бұл көліктер арасындағы қашықтықтың өзгеру жылдамдығын алуға мүмкіндік береді. Нәтижесінде уақыт бойынша dij туындысы анықталады формула 3:

$$\dot{d}_{ij} = (\mathbf{C}_i - \mathbf{C}_j)^T (\mathbf{V}_i - \mathbf{V}_j) \quad (3)$$

dij - қашықтықтың бірінші туындысы, яғни жақындау жылдамдығы. Бұл көрсеткіш екі көліктің бір-біріне қарай қозғалу жылдамдығын, яғни соқтығысқанға дейінгі салыстырмалы жылдамдығын сипаттайды. Осылайша, *i* және *j* көліктері мен оның алғашқы туындысы арасындағы қашықтық есептеледі формула 4-5:

$$d_{ij} = \sqrt{(C_i - C_j)^T (C_i - C_j)} \quad (4)$$

$$d_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}\sqrt{(C_i - C_j)^T (C_i - C_j)} \qquad (5)$$

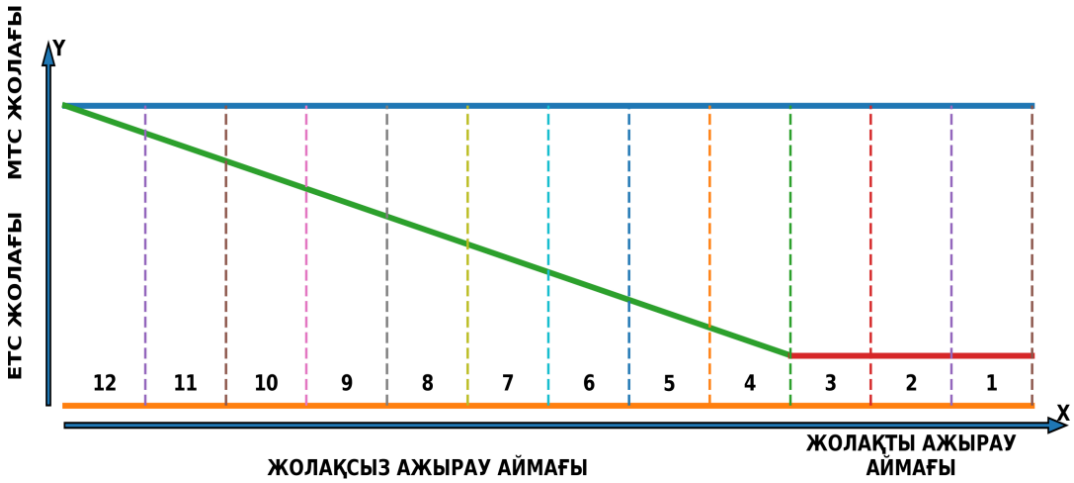
Осы зерттеу шеңберінде соқтығысуға дейінгі уақыт белгіленген уақытта бағаланады, бұл ретте көлік құралдарының жақындасуының салыстырмалы жылдамдығы тұрақты болып қабылданады. ТТС көрсеткішінің анықтамасына сәйкес, ағымдағы қозғалыс параметрлері сақталған және жақындау жылдамдығының оң мәні болған жағдайда, ықтимал соқтығысуға дейінгі уақыт көлік құралдары арасындағы ағымдағы минималды қашықтықтың олардың салыстырмалы жақындау жылдамдығына қатынасы ретінде анықталады формула 6:

$$d_{ij} + \dot{d_{ij}} \cdot TTC = 0; TCC = -\frac{\dot{d_{ij}}}{d_{ij}} \qquad (6)$$

Бейнежазбадан алынған көлік құралдарының жағдайы туралы мәліметтер жақын перифериялық нүктелерден гөрі олардың орталық нүктелерінің координаттарымен ұсынылатындықтан, фомула (3) есептеу кезінде *Ci* және *Cj* векторларын *Oi* және *Oj* орталықтарының орналасу векторларымен ауыстыру қажет. Осы болжамды ескере отырып, уақыт бойынша көлік құралдары арасындағы қашықтықтың бірінші туындысы үшін формула (3) өрнегі олардың орталықтарының салыстырмалы қозғалысы негізінде тұжырымдалады.

Ақы алу пунктінің ағындарын ажырату аймағында көлік құралдарын қайта құру процесі ұзақ сипатта болады және кеңістіктің жеке нүктесімен шектелмейді. Осыған байланысты жанжалды жағдайлар зерттелетін аймақтың әртүрлі аймақтарында қалыптасуы мүмкін.

Тәуекел деңгейіндегі кеңістіктік айырмашылықтарды талдау үшін ұзындығы 360 м болатын учаске әр суреттің ұзындығы 30 м болатын 12 тең сегменттерге бөлінді сур.5. Мұндай сегментация қақтығыстардың таралуын сандық бағалауға және қауіптілігі жоғары жергілікті аймақтарды анықтауға мүмкіндік береді.



5 - сурет. Зерттелетін учаскенің сегменттеу схемасы және мақсатты төлем жолақтарының орналасуы

Алғашқы екі сегмент белгіленген ағындарды ажырату аймағына сәйкес келеді, ал қалған он бөлігі жол белгілері жоқ учаскелерге жатады. 5-суретте көрсетілгендей, он екі жолақ әрқайсысында үш жолақтан тұратын төрт мақсатты топқа топтастырылған.1-топқа электронды төлем жолақтары (ЕТС) кіреді, ал 2-4 топтар қолмен төлем жолақтарына (МТС) жатады, төртінші топ негізінен жүк көліктеріне арналған.

Соқтығысуға дейінгі кеңейтілген уақыт көрсеткішін пайдалана отырып, әрбір көлік құралы үшін жеке тәуекел деңгейі есептеледі, бұл зерттелетін сегмент шегінде ықтимал қауіптің жайкүйін анықтауға мүмкіндік береді.

Ажырату аймағында жанжал жағдайының ықтималдығын бағалау үшін екілік логистикалық модель қолданылды. Тәуелді айнымалы ықтимал қауіпті күйді тіркеген кезде 1 мәнін және әйтпесе 0 мәнін алады.

Көлік құралы үшін жанжал оқиғасының пайда болу ықтималдығын формула 7 анықтайды:

$$p\left(y_n\right) = \frac{e^{g(y_n)}}{1 + e^{g(x_n)}} \quad (7)$$

Логистикалық регрессия моделі мұнда ұсынылған формула 8:

$$g\left(y_n\right) = \ln \frac{p\left(y_n\right)}{1 - p\left(y_n\right)} = \beta x + \varepsilon_n = \beta_{0n} + \beta_{1n} X_{1n} + \beta_{2n} X_{2n} + .. + \beta_{kn} X_{kn} + \varepsilon_n \quad (8)$$

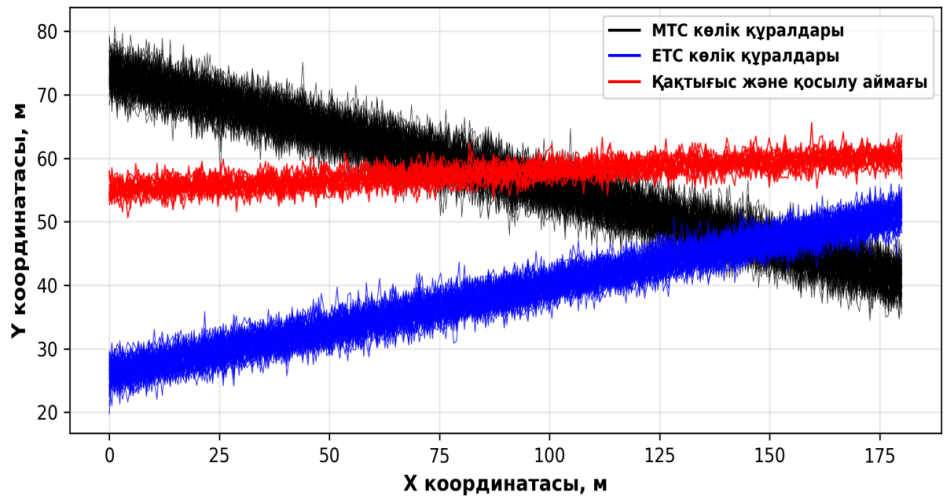
мұнда

Xn-тәуелсіз айнымалылар жиынтығы (сандық немесе категориялық болуы мүмкін), β- осы айнымалыға сәйкес келетін параметрлер ω_i-тәуелсіз айнымалылар саны, ал σ_i^2- қалыпты үлестірілген термин қателер нөлдік орташа мәнмен.

Бұл зерттеу Бір айнымалы бөлу аймағының әртүрлі сегменттеріндегі тәуелді айнымалыға бірдей әсер етеді деп болжайды.

Ақы алу пунктін ажырату аймағында электрондық (ЕТС) және қолмен (МТС) төлем жүйелерін пайдаланатын көлік құралдары орналасуы мен жол берілетін қозғалыс жылдамдығымен ерекшеленетін әртүрлі нысаналы жолақтарға жіберіледі. Бұл қайта құру траекториялары мен маневрлердің сипатындағы айырмашылықтарды тудырады, бұл жанжал деңгейіне әсер етуі мүмкін.

Зерттеу ЕТС және МТС көліктері арасындағы қайшылықты жағдайларды салыстырды. Сур.6, 50 минуттық бақылау кезеңінде eTTC ≤ 4 с көрсеткішінің критикалық мәні бар қақтығыстардың кеңістіктік таралуы ұсынылған. Алынған нәтижелер төлем түрінің ажырату аймағында ықтимал қауіпті өзара әрекеттесулердің қалыптасуына әсерін бағалауға мүмкіндік береді.



6 - сурет. Көрсеткіштердің маңызды мәні бар қақтығыстардың кеңістіктік таралуы

Сур.7, 0,1 с қадаммен есептелген қақтығыс нүктелерін ұсынады. кеңістіктік талдау etc және МТС жүйелерін пайдаланатын көліктер арасындағы қақтығыстардың таралуындағы айқын айырмашылықтарды анықтады. Дисперсиялық теңдік сынағының нәтижелері қақтығысқа дейінгі уақыт көрсеткіші бойынша топтар арасындағы статистикалық маңызды айырмашылы-

қтарды растады ($p < 0,001$).

Ажырату аймағындағы көлік құралдарының қозғалысы уақыт бойынша ұзартылған процесс болғандықтан, тәуекелді тек ettc лездік мәні бойынша бағалау жеткіліксіз. Осыған байланысты көлік құралының ықтимал қауіпті жағдайда болуының жиынтық ұзақтығын көрсететін Dangerous time (DT) жиынтық көрсеткіші енгізілді. Бұл көрсеткіштің есебі 10-нысанда берілген:

$$DT_i = N_t \cdot \quad t \qquad (9)$$

мүнда

N-көлік құралы үшін соқтығысуға дейінгі уақыт мәні *i* шекті мәннен аз болатын жағдайлар саны, ал Δt-уақыт қадамы.

Зерттеу учаскесі қайта құру траекториялары мен жанжал деңгейіндегі айырмашылықтарды анықтайтын әр түрлі төлем бағыттары бойынша бөлінген 12 жолақты қамтиды. Талдау мақсатында көлік құралдары төлем түріне және мақсатты жолаққа байланысты төрт топқа жіктелді сур.7:

- 1-топ (ETC-1): 1-топ жолақтарына жіберілетін электрондық төлем көліктері;

- 2-топ(MTC-2): 2-топ жолақтарын пайдаланатын қолмен төленетін көліктер;

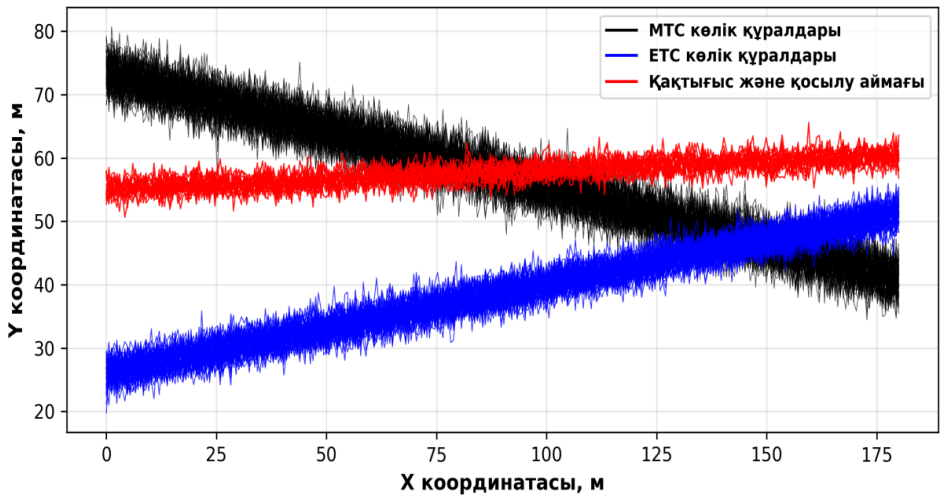
- 3-топ (MTC-3): 3-топтың жолақтарына бағытталған қолмен төленетін көлік

құралдары;

- 4-топ (MTC-4): 4-топтағы жолақтарды пайдаланатын жүк көліктерін қоса

алғанда, қолмен төленетін көліктер.

Бұл жіктеу мақсатты жолақтың конфигурациясына байланысты жүргізушілердің мінез-құлқындағы және тәуекел деңгейіндегі айырмашылықтарды салыстыруға мүмкіндік береді.



7 - Сурет. Көлік құралдарының әртүрлі топтарының қауіпті үлгілерін жанжалды талдау, (а) іріктеме мөлшері және әртүрлі топтардың қауіпті үлгілерінің пайызы; (б) TTK мәндері әртүрлі топтардың таралуы

Ағындарды бөлу аймағының бастапқы сегменттерінде көлік құралдарының қозғалысы салыстырмалы түрде тұрақты жылдамдық режимімен сипатталады, өйткені жүргізушілер мақсатты жолақтарды белсенді таңдауға әлі кіріскен жоқ. Ақы алу пунктіне қарай жылжыған сайын қайта құру маневрлерінің қарқындылығы артады, қозғалыс жылдамдығының төмендеуі және көлік ағынының тығыздығының артуы байқалады. Әсіресе айқын өзгерістер көлік құралдарының траекториялары жиі қиылысатын орта және соңғы сегменттерде жазылады.

Сегменттеуді қолдану қауіпті жағдайлардың бөліну аймағының ұзындығы бойынша таралуын сандық бағалауға ғана емес, сонымен қатар учаскенің геометриялық сипаттамалары,

жүргізушілердің мінез-құлқы және жол-көлік оқиғаларының қауіп деңгейі арасында себеп-салдарлық байланыстар орнатуға мүмкіндік береді.

2 кестеде ағындарды бөлу аймағындағы қауіпті жағдайларды анықтау үшін қолданылатын қозғалыс қауіпсіздігінің индикаторлары келтірілген. Классикалық соқтығысу уақытының көрсеткіші (TTC), оның кеңейтілген екі өлшемді модификациясы (eTTC), сондай-ақ қауіпті уақыттың интегралды көрсеткіші (DT) сипатталған. τ = 4 С шекті мәні көрсетілген, оның негізінде жанжалды күйлердің жіктелуі жүзеге асырылады. Кесте тәуекел көрсеткіштерін кейінгі талдау мен есептеудің әдістемелік негізін құрайды.

2-кесте. Қозғалыс қауіпсіздігінің көрсеткіштері

Индикатор	Белгілеу	Мағынасы	Табалдырық
Соқтығысуға дейінгі уақыт	TTC	Классикалық бір өлшемді тәуекел	τ = 4 с
Кеңейтілген TTC	eTTC	Траекториялардың екі өлшемді жақындасуы	τ = 4 с
Қауіпті уақыт	DT	Тәуекелдің интегралды ұзақтығы	

Сур.8, 12 учаскеге бөлінген көлік ағындарын бөлу аймағы бойындағы қауіпті жағдайлар санының өзгеру кестесі ұсынылған. Абсцисса осі бойынша көлік құралдарының ақы алу пунктіне дәйекті жақындауына сәйкес келетін сегменттердің нөмірлері, ал ординат осі бойынша — соқтығысуға дейінгі кеңейтілген уақыт көрсеткішінің шекті мәні негізінде айқындалған тіркелген қауіпті жағдайлардың (N) Саны кейінге қалдырылды.

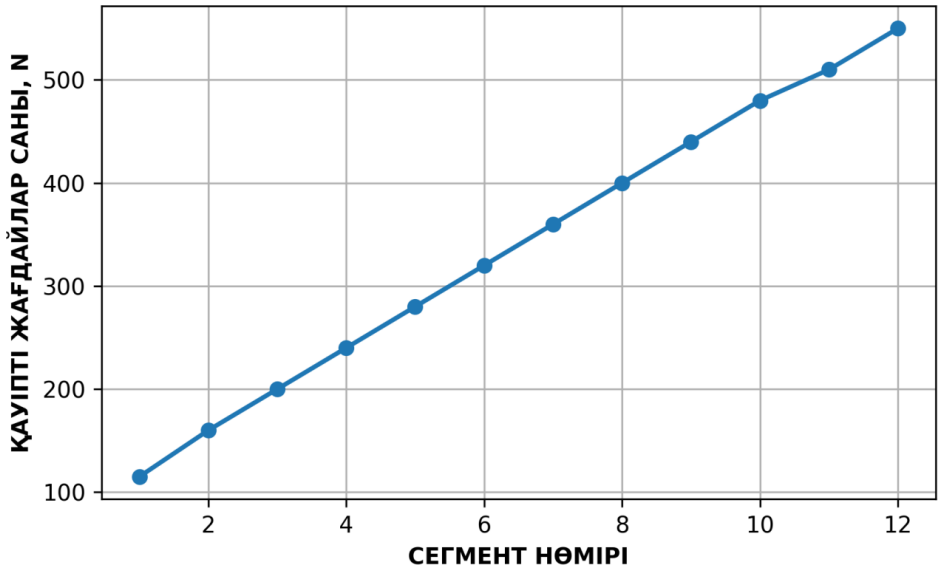
Кестені талдау төлем нүктесіне жақындаған кезде қауіпті жағдайлар санының айқын өсу тенденциясын көрсетеді. Бірінші сегменттерде N көрсеткішінің мәндері салыстырмалы түрде төмен болып қалады, бұл реттелген қозғалысты және қақтығыс маневрлерінің шектеулі санын көрсетеді. Орта сегменттерде қайта құру жиілігінің артуына, жылдамдықтардың гетерогенділігіне және көлік ағынының тығыздығының өсуіне байланысты қауіпті жағдайлар санының жедел өсуі байқалады.

N көрсеткішінің максималды мәндері уақыт тапшылығы мен шектеулі кеңістік жағдайында жүргізушілер шешім қабылдайтын бөлу аймағының соңғы сегменттерінде жазылады.9-суретте көрсетілген тренд ақы алу пунктінің жанында тәуекелдің кеңістіктік шоғырлануының болуын растайды және ағындарды бөлу аймағының соңғы учаскелерінде қозғалысты басқарудың атаулы шараларын қолдану қажеттілігін атап көрсетеді.

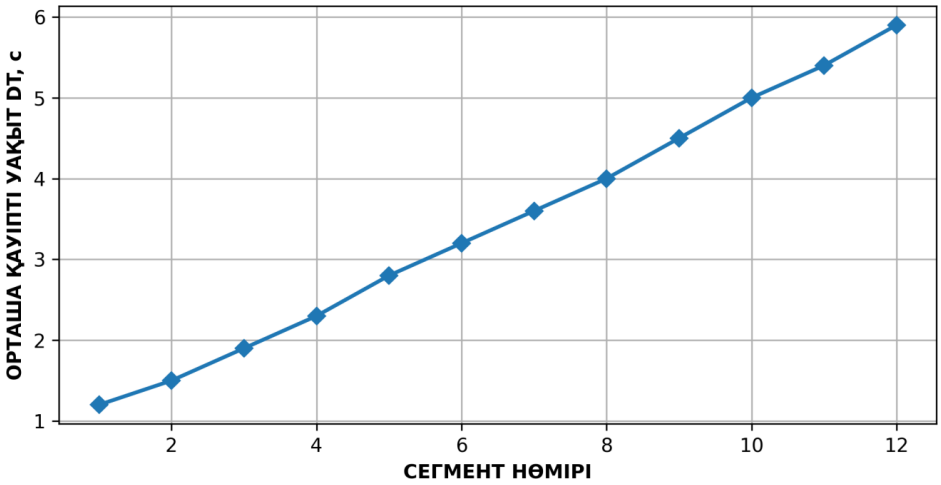
Қауіпті жағдайлардың абсолютті санына тәуелділіктен айырмашылығы, DT орташа қауіпті уақыт көрсеткіші қақтығыс жағдайларының уақытша тұрақтылығын көрсетеді. Суреттен көрініп тұрғандай сур.9, DT мәні ақы алу нүктесіне жақындаған сайын артады, бірақ өсу сипаты n-ге тәуелділіктен ерекшеленеді, бұл соңғы сегменттерде қақтығыстар саны артып қана қоймай, олардың ұзақтығы да артып келе жатқанын көрсетеді, бұл ауыр және тұрақты қауіпті қозғалыс режимдерін көрсетеді.

Қауіпті жағдайлар санының ағындарды бөлу аймағы сегментінің санына тәуелділік графигі сур.10 көліктік тәуекел деңгейінің айқын кеңістіктік гетерогенділігін айқын көрсетеді. Графиктен көріп отырғанымыздай, зерттелетін учаскенің бастапқы сегменттерінде N көрсеткішінің мәні салыстырмалы түрде төмен болып қалады, бұл көлік құралдарының реттелген қозғалысын және жанжалды маневрлердің шектеулі санын көрсетеді.

Төлем пунктіне жақындаған сайын қауіпті жағдайлар санының тұрақты өсуі байқалады. Бұл өсу іс жүзінде монотонды, бұл кездейсоқ ауытқуларға емес, тәуекелдің жоғарылауының жүйелік сипатын көрсетеді. Бұл мінезқұлықтың негізгі себептері қайта құру қарқындылығының артуы, көлік құралдары арасындағы қашықтықтың қысқаруы және жылдамдықтардың бойлық және көлденең гетерогенділігінің өсуі болып табылады.



8 - сурет. Көлік ағындарын бөлу аймағы бойындағы қауіпті жағдайлар санының өзгеру графигі



9 - сурет. Кауіпті жағдайлардың абсолютті санының ДТ орташа уақытына тәуелділігінің графигі

N көрсеткішінің әсіресе күрт өсуі бөлу аймағының соңғы сегменттерінде байқалады, онда жүргізушілер уақыт тапшылығы мен шектеулі кеңістік жағдайында жолақты таңдау туралы түпкілікті шешім қабылдауға мәжбүр. Алынған тәуелділік ағындарды бөлу аймағының соңғы бөліктерінде қозғалысты басқарудың адрестік шараларын қолданудың орындылығын растайды.

Қауіпті траекториялардың үлесінің сегмент санына тәуелділігі сурет.10 төлем нүктесіне жақындаған сайын салыстырмалы тәуекел деңгейінің өсуін көрсетеді. Жанжалды жағдайлардың абсолютті санынан айырмашылығы, бұл

көрсеткіш көлік құралдарының қауіпті қозғалыс режимдеріне қатысу дәрежесін көрсетеді. Қауіпті траекториялар үлесінің максималды мәндері бөлу аймағының соңғы сегменттерінде байқалады, бұл қозғалыс жағдайларының жүйелі нашарлауын және жол-көлік оқиғаларының ықтималдығының өсуін көрсетеді.

3 кестеде қауіпті жағдайлардың туындау ықтималдығына негізгі факторлардың әсерін сипаттайтын логистикалық модельдеу нәтижелері ұсынылған. Модель коэффициенттерінің бағалары, стандартты қателер, *z* статистикасының мәндері, маңыздылық деңгейлері және коэффициенттер (коэффициенттер) келтірілген. Кесте төлем түрінің, сегменттің орналасуының және көлік ағынының қарқындылығының тәуекелді қалыптастыруға қосқан үлесін сандық бағалауға мүмкіндік береді және графикалық және статистикалық талдау негізінде алынған қорытындыларды растайды.

3-кесте. Қауіпті жағдайларды сегменттер бойынша бөлу

Сегмент	Ұзындығы, м	Саны, N	Тығыздық, N/м²
1	30	115	0,26
2	30	160	0,36
3	30	200	0,44
4	30	240	0,53
5	30	280	0,62
6	30	320	0,71
7	30	360	0,80
8	30	400	0,89
9	30	440	0,98
10	30	480	1,07
11	30	510	1,13
12	30	550	1,22

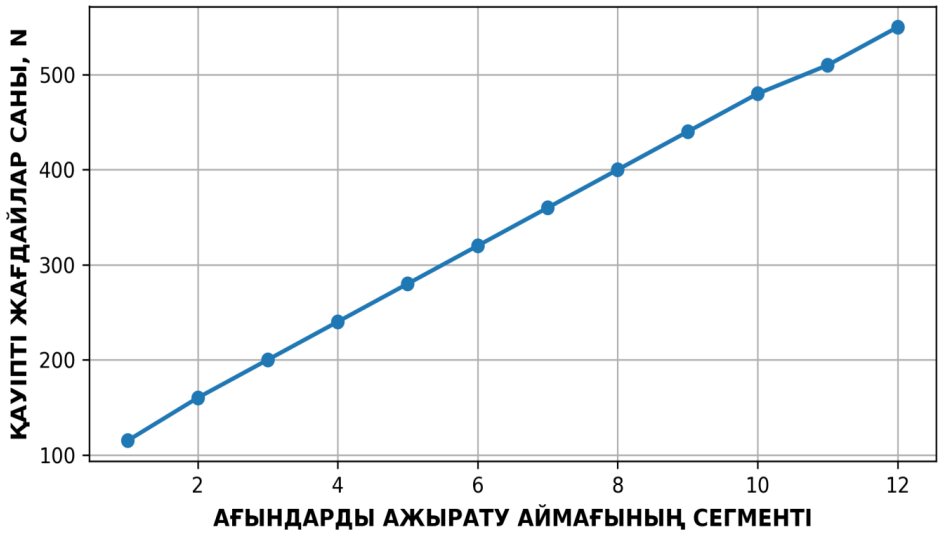
11 сур., ұсынылған графикте қауіпті жағдайлар санының ақы алу пунктіне дейінгі көлік ағындарын бөлу аймағы сегментінің нөміріне тәуелділігі көрсетілген. Абсцисса осі бойынша бөлу аймағының бойында дәйекті орналасқан сегменттердің нөмірлері, ал ординат осі бойынша - көлік құралдарының қозғалыс траекторияларын талдау негізінде анықталған тіркелген қауіпті жағдайлардың (N) саны қойылады. Графиктегі әрбір нүкте белгілі бір сегмент шегінде тіркелген қақтығыстардың өзара әрекеттесуінің жиынтық санына сәйкес келеді.

Кестені талдау ақы алу пунктіне жақындаған кезде қауіпті жағдайлар санының айқын өсу тенденциясын көрсетеді. Ағындарды бөлу аймағының бастапқы сегменттерінде N көрсеткішінің мәндері салыстырмалы түрде төмен болып қалады, бұл қозғалыстың реттелген сипатын және қайта құру маневрлерінің шектеулі санын көрсетеді. Орта сегменттерде көлік ағынының тығыздығының өсуіне, жылдамдықтардың гетерогенділігіне және көлік құралдарының өзара әрекеттесу жиілігінің артуына байланысты қауіпті жағдайлар санының тұрақты өсуі байқалады.

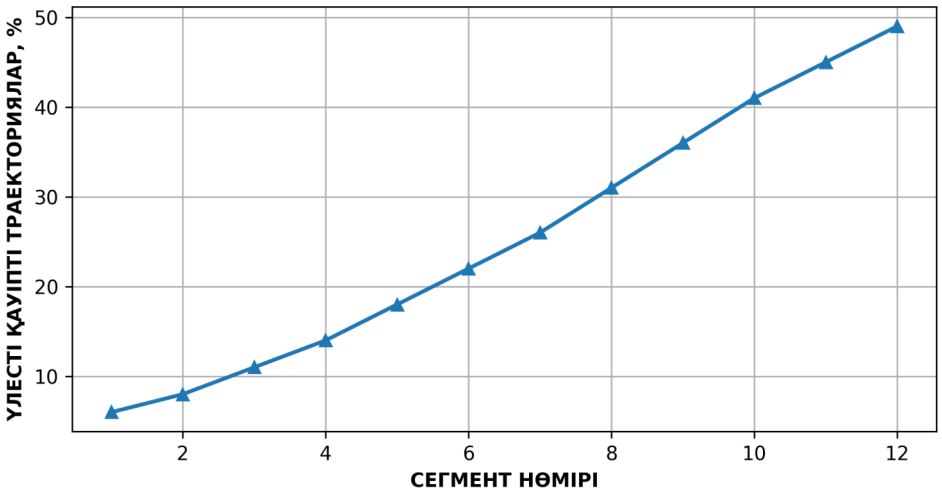
Қауіпті жағдайлар санының максималды мәндері ағындарды бөлу аймағының соңғы сегменттерінде жазылады. Себебі жүргізушілер уақыт тапшылығы мен шектеулі кеңістік жағдайында жолақты таңдау туралы түпкілікті шешім қабылдауға мәжбүр, бұл қақтығыс деңгейінің жоға-

рылауына әкеледі. Ұсынылған тәуелділік ақы алу пунктінің жанында тәуекелдің кеңістіктік шоғырлануының болуын растайды және көлік ағындарын бөлу аймағының соңғы учаскелерінде қозғалысты басқарудың атаулы шараларын қолдану қажеттілігін көрсетеді.

4 кестеде көлік ағындарын бөлу аймағының сегменттері бойынша қауіпті жағдайлардың сандық таралуын көрсетеді. Әр сегмент үшін оның ұзындығы, анықталған қауіпті жағдайлардың абсолютті саны және олардың тығыздығы келтірілген. Кесте деректері тәуекел деңгейінің кеңістіктік гетерогенділігін анықтауға мүмкіндік береді және тәуелділік графиктері мен нәтижелерді статистикалық талдаудың бастапқы негізі болып табылады.



10 - сурет. Қауіпті траекториялар санының ағындарды бөлу аймағы сегментінің санына тәуелділік графигі



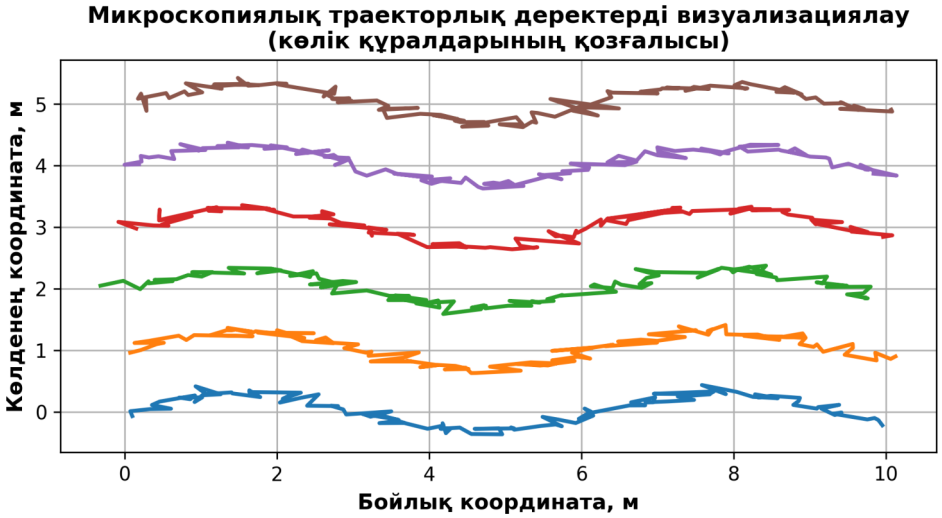
11 - сурет. Қауіпті жағдайлар санының ақы алу пунктінің алдындағы көлік ағындарын бөлу аймағы сегментінің нөміріне тәуелділігі

Кестеде қауіпті жағдайлардың туындау ықтималдығына негізгі факторлардың әсерін сипаттайтын логистикалық модельдеу нәтижелері келтірілген. Модель коэффициенттерінің баға-

лары, стандартты қателер, *z* статистикасының мәндері, маңыздылық деңгейлері және коэффициенттер (коэффициенттер) келтірілген. Кесте төлем түрінің, сегменттің орналасуының және көлік ағынының қарқындылығының тәуекелді қалыптастыруға қосқан үлесін сандық бағалауға мүмкіндік береді және графикалық және статистикалық талдау негізінде алынған қорытындыларды растайды.

4 - кесте. Логистикалық модель параметрлері

Фактор	β	SE	z	p	OR
Электрондық төлем (ETC)	0,82	0,21	3,9	0,001	2,27
Кеш сегмент	0,65	0,18	3,6	0,001	1,91
Ағынның қарқындылығы	0,47	0,15	3,1	0,002	1,60



12 - сурет. Бейне түсірілім деректері бойынша микроскопиялық траекториялық деректерді визуализациялау

Зерттеу нәтижелері айқын кеңістіктік айырмашылықтарды көрсетеді. Қауіпті жағдайлардың ең аз саны 1-сегментте (115 бақылау), ал 12-сегментте олардың саны 550-ге жетеді. Тұтастай алғанда, көлік құралдары төлем жолақтарына жақындаған сайын қақтығыстар жиілігінің өсуі байқалады, бұл тежеудің күшеюіне, жылдамдықтардың өзгеруіне және кезектердің қалыптасуына байланысты.

Сонымен қатар, қақтығыстардың тығыздығы (сегменттің ауданы бойынша) аймақтың орталық бөлігінде төмендеу тенденциясын көрсетеді, бұл жолдың кеңеюімен және көлік ағындарының қайта бөлінуімен түсіндіріледі.1 - сегменттен 2-сегментке ауысқан кезде қауіпті бақылаулар санының күрт өсуі жүргізушілер маневрге әлі толық бейімделмеген бастапқы қайта құру кезеңінде жоғары қақтығыс әлеуетін көрсетеді.

Қақтығыстардың ең көп шоғырлануы 3, 4 және 12 сегменттерінде байқалады, ал 4-Топ үшін (негізінен жүк көлігі) ағынның аз қарқындылығына және жолақтардың реттелген таралуына байланысты қақтығыс деңгейі айтарлықтай төмен.

Сур.12 бейне түсіруден алынған микроскопиялық траекториялық деректердің мысалы көрсетілген. Әрбір траектория жеке көлік құралына сәйкес келеді және оның ағындарды бөлу

аймағындағы кеңістіктік-уақыттық қозғалысын көрсетеді.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы микроскопиялық траекториялық деректерді, кеңейтілген қауіпсіздік индикаторларын (eTTC және DT) кешенді пайдалану және тәуекелді сапалы бағалаудан оның сандық кеңістіктік талдауына көшуге мүмкіндік беретін ағындарды бөлу аймағын кеңістіктік сегменттеу болып табылады. Алынған нәтижелер төлем түрінің және сегменттің жағдайының қауіпті жағдайлардың туындау ықтималдығына статистикалық маңызды әсерін анықтаған логистикалық модельдеумен қосымша расталды.

Зерттеудің практикалық маңыздылығы ақы алу пункттерін жобалау және жаңғырту, қозғалысты басқарудың Зияткерлік жүйелерін әзірлеу және қауіпсіздікті арттырудың атаулы шараларын енгізу кезінде алынған тәуелділіктерді қолдану мүмкіндігінен тұрады. Әрі қарайғы зерттеулерді әртүрлі ауа-райы мен уақыт жағдайларында нақты ағындық деректерді пайдалануға, сондай-ақ ұсынылған Әдістемені көлік инфрақұрылымының цифрлық егіздеріне біріктіруге бағыттаған жөн.

Қорытынды. Жұмыста Астана–Көкшетау автожолының ақылы учаскесінде көлік құралдарының микроскопиялық траекториялық деректеріне кеңістіктік-уақыттық сегментация мен көлік қауіпсіздігі көрсеткіштерін қолдана отырып талдау жасалды. Ұзындығы 360 м учаскедегі 48 мыңға жуық траекторияны өңдеу негізінде 1 286 ықтимал қауіпті өзара әрекеттесу анықталды, оның 32% - ы 4 С-тан төмен TTC сыни мәндерімен сипатталады. Қақтығыстардың ең көп шоғырлануы қақтығыстардың тығыздығы 0,021 қақтығыстарға/м2 жететін ақы алу аймағының бастапқы және соңғы сегменттерінде қалыптасатыны анықталды. Статистикалық талдау сегменттер мен қозғалыс режимдері арасындағы маңызды айырмашылықтарды растады ($p < 0,01$), ал логиттік модельдеу нәтижелері МТС аймағындағы қақтығыстардың ықтималдығын ETC-мен салыстырғанда екі есеге жуық арттырды.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы-ақылы жол учаскелерінің қауіпсіздігін 30 м-ге дейінгі кеңістіктік локализация дәлдігімен бағалау үшін микроскопиялық траекториялық мәліметтер мен жанжал индикаторларын кешенді пайдалану. Жұмыстың практикалық маңыздылығы адаптивті ағындарды басқару алгоритмдерін негіздеу, ETC/MTC схемаларын оңтайландыру және нақты ЖКО күтпестен профилактикалық қауіпсіздік деңгейін арттыру үшін ұсынылған тәсілді қолдану мүмкіндігінен тұрады. Әрі қарайғы зерттеулерді онлайн-бейне деректерін біріктіруге, мінез-құлық индикаторларының жиынтығын кеңейтуге және жанжалды жағдайлардың автоматты түрде алдын алу үшін нақты уақыттағы интеллектуалды жүйелерді әзірлеуге бағыттаған жөн.

Әдебиеттер

1. Список автомобильных дорог. [Электронный ресурс] URL:https://data.egov.kz .- Дата обращения: 12.01.2026.

2. Expressways of China [Electronic resource] URL: https://grokipedia.com – Дата обращения: 12.01.2026.

3. Mo W. Et al. Dynamic short-term crash analysis and prediction at mainline toll plazas. Accident// Analysis & Prevention. -2024.-Vol.197:107456. DOI 10.1016/j.aap.2024.107456.

4. Zahedieh F., Lee, C. Impacts of a Toll Information Sign and Toll Lane Configuration on Queue Length and Collision Risk at a Toll Plaza with a High Percentage of Heavy Vehicles. - MDPI. - Vol.6(3). - P.1249-1267. DOI 10.3390/vehicles6030059.

5. Fei Y., Long K., Xing L. Safety performance analysis of toll plaza diverging area based on an improved simulation platform for weak-constraint driving behaviors// Accident Analysis & Prevention. - 2025. - sep.220:108177. DOI 10.1016/j.aap.2025.108177. Epub 2025 Jul 29.

6. Zhou T. et al. (2023). Proactive integrated traffic control to mitigate congestion at toll plazaz// IET Intell. Transp. Syst. - 2023.- Vol.17(8). - P.575–1587. DOI 10.1049/itr2.12348.

7. Xia Y. et alRisk Identification and Conflict Prediction from Videos based on TTC-ML of a Multi-Lane Weaving Area// Sustainability. -2022.-Vol.14(8):4620. DOI 10.3390/su14084620.

8. Tang J. Et al. Vehicle trajectory extraction and integration from multi-camera surveillance videos. - Displays.- 2024. – VoL. 85: 10283. DOI 10.1016/j.displa.2024.102834.

9. Riehl K. Et al. Consistent vehicle trajectory extraction from aerial//Scientific Reports. -2025.- Vol. 15(1): 27522. DOI 10.1038/s41598-025-12301-2.

10. Berghaus M. Et al. Vehicle trajectory dataset from drone videos including off-ramp and congested traffic - Analysis of data quality, traffic flow, and accident risk// Communications in Transportation Research. -2024.-Vol.4: 100133. DOI 10.1016/j.commtr.2024.100133.

11. Sarkar D.R. et al. A review of surrogate safety measures on road safety at unsignalized intersections in developing countries// Accident Analysis & Prevention. -2024.-Vol.195:107380. DOI 10.1016/j.aap.2023.107380.

12. Nikolaou D. et al. A Review of Surrogate Safety Measures Uses in Historical Crash// Investigations// Sustainability.- 2023.-Vol.15 (9):7580.DOI 10.3390/su15097580.

13. Sukhanya K., Shilpa R. N., Bhavathratha B. K. Investigating surrogate safety measures’ threshold consistency on different types of curves//Journal of Transportation Safety & Security.- 2025.- Vol.17(6). – P.1-13. DOI 10.1080/19439962.2024.2447985.

14.Тулегулов А.Д., Жамангарин Д.С., Алтынбек С.А., Акишев К.М. Жол қиылыстарындағы көлік құралдарының ағынын нақты уақыт режимінде динамикалық реттеу// Вестнмик КазУТБ.-2024.- № 3(24).-С.96-104. DOI 10.58805/kazutb.v.3.24-551.

Referenses

1. Spisok avtomobil’ nyh dorog. [Jelektronnyj resurs] URL: https://data.egov.kz .- Data obrashhenija: 12.01.2026. [in Russian]

2. Expressways of China [Electronic resource] URL: https://grokipedia.com – Date accessed Data obrashhenija: 12.01.2026.

3. Mo W. Et al. Dynamic short-term crash analysis and prediction at mainline toll plazas. Accident// Analysis & Prevention. -2024.-Vol.197:107456. DOI 10.1016/j.aap.2024.107456.

4. Zahedieh F., Lee, C. Impacts of a Toll Information Sign and Toll Lane Configuration on Queue Length and Collision Risk at a Toll Plaza with a High Percentage of Heavy Vehicles. - MDPI. - Vol.6(3). - P.1249-1267. DOI 10.3390/vehicles6030059.

5. Fei Y., Long K., Xing L. Safety performance analysis of toll plaza diverging area based on an improved simulation platform for weak-constraint driving behaviors// Accident Analysis & Prevention. - 2025. - sep.220:108177. DOI 10.1016/j.aap.2025.108177. Epub 2025 Jul 29.

6. Zhou T. et al. (2023). Proactive integrated traffic control to mitigate congestion at toll plazaz// IET Intell. Transp. Syst. - 2023.- Vol.17(8). - P.575–1587. DOI 10.1049/itr2.12348.

7. Xia Y. et alRisk Identification and Conflict Prediction from Videos based on TTC-ML of a Multi-Lane Weaving Area// Sustainability. -2022.-Vol.14(8):4620. DOI 10.3390/su14084620.

8. Tang J. Et al. Vehicle trajectory extraction and integration from multi-camera surveillance videos. - Displays.- 2024. – VoL. 85: 10283. DOI 10.1016/j.displa.2024.102834.

9. Riehl K. Et al. Consistent vehicle trajectory extraction from aerial//Scientific Reports. -2025.- Vol. 15(1): 27522. DOI 10.1038/s41598-025-12301-2.

10. Berghaus M. Et al. Vehicle trajectory dataset from drone videos including off-ramp and congested traffic - Analysis of data quality, traffic flow, and accident risk// Communications in Transportation Research. -2024.-Vol.4: 100133. DOI 10.1016/j.commtr.2024.100133.

11. Sarkar D.R. et al. A review of surrogate safety measures on road safety at unsignalized intersections in developing countries// Accident Analysis & Prevention. -2024.-Vol.195:107380. DOI 10.1016/j.aap.2023.107380.

12. Nikolaou D. et al. A Review of Surrogate Safety Measures Uses in Historical Crash// Investigations// Sustainability.- 2023.-Vol.15 (9):7580.DOI 10.3390/su15097580.

13. Sukhanya K., Shilpa R. N., Bhavathratha B. K. Investigating surrogate safety measures' threshold consistency on different types of curves//Journal of Transportation Safety & Security.- 2025.- Vol.17(6). – P.1-13. DOI 10.1080/19439962.2024.2447985.

14. Tulegulov A.D., Zhamangarin D.S., Altynbek S.A., Akishev K.M. Zhol қiylystaryndaғy kөlik құraldarynyң aғynyn nақty uaқyt rezhiminde dinamikalyқ retteu// Vestnmik KazUTB. -2024.- № 3(24). -S.96-104. DOI 10.58805/kazutb.v.3.24-551.[in Kazakh]

Авторлар туралы мәлімет

Жамангарин Д.С.- PhD, Л.Н.Гумилев ат.Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail:dusmat_zhamangarin@vk.com;

Жунисова У.М.- PhD, доцент, Медицина Университеті Астана, Астана, Қазақстан, e-mail: ulzhalgaszhunisova@gmail.com;

Акишев К.М.-т. ғ. к., қауымдастырылған профессор, К. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университетінің, Астана, Қазақстан, e-mail: akmail04cx@mail.ru;

Изтелеуова Г. С.- техника ғылымдарының магистрі, Қазақстанның инновациялық және телекоммуникациялық жүйелер университеті, Орал, Қазақстан, e-mail: Gulzada0385@mail.ru.

Information about the authors

Zhamangarin D.- PhD, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: dusmat_zhamangarin@vk.com;

Zhunisova U.- PhD, Associate Professor, Medical University of Astana, Astana, Kazakhstan, e-mail: ulzhalgaszhunisova@gmail.com;

Akishev K.M.-Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: akmail04cx@mail.ru;

Izteleuova G.S.- Master of Technical Sciences, Kazakhstan University of Innovative and Telecommunication Systems, Oral, Kazakhstan, e-mail: Gulzada0385@mail.ru.

IRSTI 20.53.23; 28.23.15; 28.23.29; 27.47.17 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1722**

HYBRID ENCRYPTION ARCHITECTURE BASED ON CHAOTIC DYNAMICS AND AES-GCM ALGORITHM FOR PROTECTING MULTIMEDIA DATA

[1]A.T. Mazakova, [1]Sh.A. Jomartova✉, [2]A.L. Yessenbaeva, [1]A.A. Kulzhanova, [3]B. Zhao

[1]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
[2]L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[3]Dalian University of Technology, China

✉ *Corresponding author: jomartova@mail.ru*

This paper addresses the problem of secure encryption of images and binary data through the integration of chaotic dynamic systems and modern symmetric cryptographic primitives. The growing volume of multimedia data in telecommunication and information systems necessitates the development of encryption methods that ensure high resistance to statistical and differential cryptanalysis while accounting for the intrinsic structural properties of visual data.

A hybrid encryption algorithm is proposed, combining chaotic permutation and diffusion mechanisms with authenticated symmetric encryption based on the AES-256 algorithm in GCM mode. Chaotic sequences are generated using a logistic map, whose parameters are deterministically derived from key material via a key derivation function (Scrypt), enabling an expanded key space and high sensitivity to key variations. The algorithm implements a multi-stage transformation architecture, including chaotic preprocessing and subsequent authenticated encryption, ensuring both confidentiality and data integrity.

The performance and cryptographic properties of the proposed method are evaluated through numerical experiments on datasets of varying sizes and structures, including grayscale and color images, text, and binary files. The effectiveness of the algorithm is assessed using entropy analysis, histogram uniformity, and differential attack resistance metrics (NPCR and UACI). Experimental results demonstrate that the entropy of encrypted data approaches the theoretical maximum (≈8 bits per byte), indicating near-ideal randomness and elimination of statistical dependencies.

The proposed hybrid approach significantly enhances resistance to statistical and differential cryptanalysis compared to purely chaotic or classical cryptographic schemes. The results confirm the feasibility and effectiveness of integrating chaotic transformations with standardized cryptographic algorithms for secure multimedia data protection in modern information systems.

Keywords: chaotic sequences, image encryption, chaotic cryptography, permutation and diffusion, hybrid encryption algorithm, entropy, correlation analysis, information security, multimedia data protection.

МУЛЬТИМЕДИА ДЕРЕКТЕРІН ҚОРҒАУҒА АРНАЛҒАН ХАОТИКАЛЫҚ ДИНАМИКА ЖӘНЕ AES-GCM АЛГОРИТМІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ГИБРИДТІК ШИФРЛАУ АРХИТЕКТУРАСЫ

[1]Ә.Т. Мазақова, [1]Ш.А. Жомартова✉, [2]А.Л. Есенбаева, [1]А.А. Кульжанова, [3]Б. Чжао

[1]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
[3]Далянь технологиялық университеті, Қытай,
e-mail: jomartova@mail.ru

Бұл мақалада хаотикалық динамикалық жүйелер мен заманауи симметриялық криптографиялық примитивтерді біріктіру арқылы кескіндер мен екілік деректерді қауіпсіз шифрлау мәселесі қарастырылады. Телекоммуникация және ақпараттық жүйелердегі мультимедиялық деректердің көлемінің өсуі визуалды деректердің ішкі құрылымдық қасиеттерін ескере отырып, статистикалық және дифференциалды криптоталдауға жоғары төзімділікті қамтамасыз ететін шифрлау әдістерін әзірлеуді қажет етеді.

Хаотикалық пермутация және диффузия механизмдерін GCM режиміндегі AES-256 алгоритміне негізделген аутентификацияланған симметриялық шифрлаумен біріктіретін гибридті шифрлау алгоритмі ұсынылады. Хаотикалық тізбектер логистикалық картаны пайдаланып жасалады, оның параметрлері кілтті алу функциясы (Scrypt) арқылы кілт материалынан детерминирленген түрде алынады, бұл кеңейтілген кілт кеңістігін және кілт вариацияларына жоғары сезімталдықты қамтамасыз етеді. Алгоритм хаотикалық алдын ала өңдеуді және кейіннен аутентификацияланған шифрлауды қамтитын көп сатылы трансформация архитектурасын жүзеге асырады, бұл құпиялылықты да, деректердің тұтастығын да қамтамасыз етеді.

Ұсынылған әдістің өнімділігі мен криптографиялық қасиеттері сұр реңкті және түрлі-түсті кескіндерді, мәтінді және екілік файлдарды қоса алғанда, әртүрлі өлшемдер мен құрылымдардағы деректер жиынтықтарындағы сандық эксперименттер арқылы бағаланады. Алгоритмнің тиімділігі энтропия талдауы, гистограмманың біркелкілігі және дифференциалды шабуылға төзімділік көрсеткіштері (NPCR және UACI) арқылы бағаланады. Тәжірибелік нәтижелер шифрланған деректердің энтропиясының теориялық максимумға (байтқа ≈8 бит) жақындайтынын көрсетеді, бұл идеалға жақын кездейсоқтықты және статистикалық тәуелділіктердің жойылуын көрсетеді.

Ұсынылған гибридті тәсіл таза хаотикалық немесе классикалық криптографиялық схемалармен салыстырғанда статистикалық және дифференциалды криптоталдауға төзімділікті айтарлықтай арттырады. Нәтижелер қазіргі ақпараттық жүйелерде мультимедиялық деректерді қауіпсіз қорғау үшін хаотикалық түрлендірулерді стандартталған криптографиялық алгоритмдермен біріктірудің орындылығы мен тиімділігін растайды.

Түйін сөздер: Хаотикалық тізбектер, кескінді шифрлау, хаотикалық криптография, пермутация және диффузия, гибридті шифрлау алгоритмі, энтропия, корреляциялық талдау, ақпараттық қауіпсіздік, мультимедиялық деректерді қорғау.

ГИБРИДНАЯ АРХИТЕКТУРА ШИФРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ХАОТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ И АЛГОРИТМА AES-GCM ДЛЯ ЗАЩИТЫ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ ДАННЫХ

[1]А.Т. Мазақова, [1]Ш.А. Джомартова✉, [2]А.Л. Есенбаева, [1]А.А. Кульжанова, [3]Б. Чжао

[1]Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
[2]Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан,
[3]Даляньский технологический университет, Китай,
e-mail: jomartova@mail.ru

В данной статье рассматривается проблема безопасного шифрования изображений и бинарных данных путем интеграции хаотических динамических систем и современных симметричных криптографических примитивов. Растущий объем мультимедийных данных в телекоммуникационных и информационных системах требует разработки методов шифрования, обеспечивающих высокую устойчивость к статистическому и дифференциальному криптоанализу, при этом учитывающих внутренние структурные свойства визуальных данных.

Предложен гибридный алгоритм шифрования, сочетающий механизмы хаотической перестановки и диффузии с аутентифицированным симметричным шифрованием на основе алгоритма AES-256 в режиме GCM. Хаотические последовательности генерируются с использованием логистического отображения, параметры которого детерминированно выводятся из ключевого материала с помощью функции вывода ключа (Scrypt), что позволяет расширить ключевое пространство и обеспечить высокую чувствительность к изменениям ключа. Алгоритм реализует многоступенчатую архитектуру преобразования, включающую хаотическую предварительную обработку и последующее аутентифицированное шифрование, обеспечивая как конфиденциальность, так и целостность данных.

Производительность и криптографические свойства предложенного метода оцениваются с помощью численных экспериментов на наборах данных различного размера и структуры, включая изображения в оттенках серого и цветные изображения, текст и бинарные файлы. Эффективность алгоритма оценивается с помощью анализа энтропии, равномерности гистограммы и метрик устойчивости к дифференциальным атакам (NPCR и UACI). Экспериментальные результаты показывают, что энтропия зашифрованных данных приближается к теоретическому максимуму (≈8 бит на байт), что указывает на почти идеальную случайность и устранение статистических зависимостей.

Предложенный гибридный подход значительно повышает устойчивость к статистическому и дифференциальному криптоанализу по сравнению с чисто хаотическими или классическими криптографическими схемами. Результаты подтверждают осуществимость и эффективность интеграции хаотических преобразований со стандартизированными криптографическими алгоритмами для надежной защиты мультимедийных данных в современных информационных системах.

Ключевые слова: хаотические последовательности, шифрование изображений, хаотическая криптография, перестановка и диффузия, гибридный алгоритм шифрования, энтропия, корреляционный анализ, информационная безопасность, защита мультимедийных данных.

Introduction. With the rapid development of digital technologies and global digitalization, the volume of multimedia information transmitted, processed, and stored is growing significantly. A significant portion of this information flow consists of images and video data used in telecommunications systems, video surveillance systems, telemedicine, unmanned aerial and marine platforms, geographic information systems, biometric systems, intelligent monitoring systems, and machine vision. Visual information is increasingly being used not only as a display medium but also as a data source for automated decision-making systems, significantly increasing the requirements for its protection [1-6].

In modern information systems, ensuring the confidentiality, integrity, and authenticity of data is a key information security objective. Violating these properties in multimedia data can lead to the leakage of personal information, the substitution of visual data, the distortion of medical images, errors in navigation and monitoring systems, and the compromise of data in video surveillance systems and unmanned platforms. With the increasing number of cyberattacks and the development of data analysis methods, image protection issues are becoming increasingly important.

Classic cryptographic algorithms such as AES, DES, RSA, and their modifications were originally developed to protect general-purpose text and binary data. They are widely used in secure network protocols, banking and government information systems, electronic document management, and authentication systems. Despite their high formal cryptographic strength, these algorithms do not take into account the specific properties of images as the object of encryption. These properties include: 1) high correlation between adjacent pixels; 2) significant data redundancy; 3) two-dimensional spatial structure; 4) large volumes of information; 5) high sensitivity of visual perception to local distortions.

These characteristics mean that the direct application of standard block ciphers to images may not always be optimal in terms of computational efficiency, communication bandwidth, and resistance to specialized types of cryptanalysis aimed specifically at multimedia data. Furthermore, encrypting images without prior processing does not destroy their spatial structure, which in some cases can lead to statistical information leakage.

In this regard, specialized image encryption algorithms that take into account the statistical and structural properties of images have been actively developing in recent decades. The use of chaotic dynamic systems is of significant interest in this area. Chaotic systems are nonlinear dynamic systems possessing a number of fundamental properties that are particularly valuable for cryptographic applications: 1) sensitivity to initial

conditions (the “butterfly” effect); pseudorandom nature of trajectories; 2) ergodicity; 3) nonlinearity; 4) a high degree of phase space mixing [7-12].

Thanks to these properties, chaotic maps can be used as pseudorandom sequence generators, data permutation mechanisms, and diffusion schemes. The first works on the application of chaotic maps in cryptography demonstrated the fundamental possibility of constructing symmetric encryption algorithms based on one-dimensional and multidimensional chaotic maps. Subsequent studies proposed various chaotic models, including the logistic map, the Hénon map, the Chebyshev map, the PWLCM (Piecewise) map, and the symmetric-valued map. Linear Chaotic Map), Arnold cut-maps and their multidimensional generalizations.

Despite the large number of publications devoted to chaotic image encryption, a significant portion of the proposed algorithms have a number of significant drawbacks. The main problems include: 1) the lack of a rigorous cryptographic justification for security; 2) vulnerability to differential and statistical cryptanalysis; 3) small key space; 4) weak key sensitivity; 5) the lack of authentication and data integrity control mechanisms; 6) difficulties scaling to large images and streaming data [13-18].

In many studies, chaotic algorithms are evaluated primarily by empirical metrics (entropy, correlation, NPCR, UACI), without analyzing their robustness within a classical cryptographic adversary model. This limits the practical application of purely chaotic schemes in systems with high security requirements.

On the other hand, modern symmetric cryptographic algorithms, in particular the AES (Advanced Encryption Standard) possess a high degree of formal cryptographic strength, confirmed by years of analysis by the cryptographic community. AES is used in most secure network protocols (TLS, IPsec, VPN), in banking systems, and in government information infrastructures. However, classical block ciphers are not oriented toward the structural features of images and do not pre-mask spatial dependencies between pixels.

In this regard, the development of hybrid encryption algorithms that combine the advantages of chaotic methods and proven cryptographic standards is a pressing issue. This approach allows for: 1) use chaotic transformations to destroy the correlation and spatial structure of images; 2) apply standard cryptographic primitives to ensure formally provable cryptographic resistance; 3) implement authenticated encryption with data integrity control; 4) increase resistance to statistical and differential cryptanalysis.

Hybrid schemes allow us to eliminate the main shortcomings of purely chaotic algorithms and simultaneously expand the functionality of classical cryptosystems through preliminary chaotic data processing.

This paper focuses on the development and evaluation of a hybrid image encryption algorithm based on the integration of chaotic dynamic systems and the AES-256 symmetric cryptographic algorithm in GCM mode. The proposed algorithm implements a multi-layered security architecture, including chaotic permutation and diffusion of image pixels, as well as authenticated block encryption.

A logistic mapping is used as a chaotic sequence generator, the parameters of which are deterministically formed from the key material. The chaotic system is used to construct permutations of image rows and columns and to form a key matrix implementing the diffusion transform. After chaotic processing, the data is further encrypted using the AES-256-GCM algorithm, ensuring confidentiality and integrity control [19-23].

The aim of this work is to develop a cryptographically secure and practically applicable image encryption algorithm aimed at protecting visual information in modern telecommunication and information systems.

To achieve the stated goal, the following tasks are solved in the work: 1) analysis of modern methods of image encryption; 2) study of the properties of chaotic dynamic systems as applied to cryptographic applications; 3) development of the architecture of a hybrid encryption algorithm;

4) construction of a mathematical model of chaotic transformations; 5) software implementation of the algorithm; 6) study of the cryptographic properties of the proposed method based on numerical experiments.

The scientific novelty of the work lies in the development of a hybrid approach to image encryption, combining chaotic permutations and diffusion with authenticated symmetric encryption, as well as in the deterministic formation of parameters of a chaotic system from key material.

The practical significance of the work lies in the possibility of using the developed algorithm in secure channels for transmitting multimedia information, video surveillance systems, telemedicine platforms, unmanned systems, and intelligent monitoring systems.

Materials and methods. The objects of study in this paper were digital images and text files represented in byte form. The main types of input data were:

- halftone and color images in BMP and PNG formats;

- text files in TXT format;

- binary files of arbitrary structure.

Images were treated as two-dimensional luminance matrices (for grayscale images) or three-dimensional arrays of RGB components (for color images). To ensure the algorithm' s universality, all data was first converted to a one-dimensional byte sequence:

$$P = \{p_0, p_1, ..., p_{n-1}\}, \quad (1)$$

where n is the file length in bytes.

The key information was specified as an external key file containing a character or binary sequence of arbitrary length. The cryptographic key was generated using the Scrypt key derivation function, which ensures resistance to brute-force attacks and attacks using precomputed tables (rainbow tables).

Python 3.10-3.11 was used as the software platform, using the cryptography library, which implements the AES-256 algorithm in GCM mode. All experiments were conducted in a deterministic computing environment, ensuring reproducibility of the results.

Let the external key file be represented as a byte sequence:

$$K_{ext} = \{k_0, k_1, ..., k_{m-1}\}. \quad (2)$$

On its basis, cryptographic key material is formed:

$$K = Scrypt\left(K_{ext}, salt, r, n, p\right), \quad (3)$$

where $salt$ is a random salt, r, n, p are the parameters of the Scrypt function.

As a result, a 64-byte key material vector is formed:

$$K = \left(K_{AES}, K_{ch}\right), \quad (4)$$

where K_{AES} is a 256-bit key for the AES algorithm, K_{ch} is a subset of bytes used to generate the parameters of the chaotic system.

This approach provides: 1) an expansion of the key space; 2) protection against brute-force attacks; and 3) high sensitivity to changes in the key file.

The logistic mapping is used as the basic chaotic dynamic system:

$$x_{n+1} = \mu x_n \left(1 - x_n\right), \quad (5)$$

where $x_n \in (0, 1)$, $\mu \in (3.57, 4)$ is the parameter corresponding to the chaotic regime.

The initial value x_0 and parameter μ are formed deterministically from the key material K_{ch}:

$$x_0 = f_1(K_{ch}), \quad (6)$$

$$\mu = 3.57 + f_2\left(K_{ch}\right),$$

where f_1, f_2 are functions for mapping a bit sequence into real numbers.

To eliminate transient effects, "warming up" of the chaotic system is used:

$$x_{n+T} = F^T\left(x_0\right), \quad (7)$$

where T is the number of discarded initial iterations.

The pseudo-random sequence is formed according to the rule:

$k_n = \lfloor 256 * x_n \rfloor$,

which allows you to get a stream of bytes:

$K_{seq} = \{k_0, k_1, ..., k_{n-1}\}$.

Chaotic permutation method (confusion). To destroy the spatial structure of the original data, a chaotic permutation of array elements is used P.

Let' s define an array of indices:

$i = \{0, 1, ..., n-1\}$.

An auxiliary array is formed on the basis of a chaotic sequence:

$H = \{h_i\}$, $h_i = x_i$.

The permutation is constructed by sorting the indices in ascending order of values h_i:

$$\pi = argsort(H).$$

Then the permuted array is defined as:

$$P_i^{'} = P_{\pi(i)}. \quad (8)$$

This transformation destroys local correlation dependencies and provides spatial diffusion of data.

Chaotic diffusion method. After the permutation, a diffusion transform based on the XOR operation is applied:

$C_i = P_i^{'} \oplus K_{seq,i}$,

where $K_{seq,i}$ is an element of the chaotic key flow.

Diffusion ensures high sensitivity of the output data to changes in any byte of the input sequence or key, which meets the requirement of the avalanche effect in cryptography.

AES-256-GCM Authenticated Encryption Method. The sequence obtained after chaotic processing:

$$C^{'} = \{C_0, C_1, ..., C_{n-1}\}$$

is subjected to additional cryptographic encryption using the AES-256 algorithm in GCM mode:

$$C = AES - GCM(C^{'}, K_{AES}, nonce), \quad (9)$$

where *nonce* is a random initialization vector.

GCM mode provides: 1) data confidentiality; 2) integrity control; 3) protection against data substitution; 4) ciphertext authentication.

The structure of the output file is as follows:

$$Blob = \{salt, nonce, C, tag\}.$$

Decryption method. The decryption procedure is performed in reverse order:

1. Extraction *salt* and *nonce*.

2. Generation of key material K.

3. AES-GCM Decryption:
$C^{'} = AES_GCM^{-1}(C^{'}, K_{AES})$.

4. Back diffusion: $P_i^{'} = C_i \oplus K_{seq,i}$.

5. Reverse permutation: $P_i = P^{'}_{\pi^{-1}(i)}$.

The correctness of the recovery is ensured by the deterministic generation of chaotic parameters and permutations.

To analyze the cryptographic strength of the algorithm, entropy (Shannon) was used:

$$H = -\sum_{i=0}^{255} p_i \log_2 p_i \quad (10)$$

where p_i is the probability of occurrence of a byte with value i.

The computational complexity and execution time of the algorithm were also estimated.

Results and discussion. The purpose of the experimental study is to evaluate the performance and cryptographic strength of the proposed hybrid encryption algorithm for various types of data, including grayscale images, color images, text files, and binary data.

All experiments were conducted in Python 3.10-3.11 using the cryptography library. Test datasets

ranged from 64 KB to 4 MB, ensuring scalability analysis.

The correctness of the algorithm was verified using the following condition:

$$P = D(E(P, K), K), \quad (11)$$

where E and D denote encryption and decryption functions, respectively.

Experimental results confirmed that the original data is fully recovered without distortion, demonstrating the correctness and reliability of the proposed method.

To evaluate the randomness of encrypted data, Shannon entropy was calculated. The results are presented in Table 1.

Table 1 - Entropy of original and encrypted data

Data Type	Size (KB)	Original Entropy	Encrypted Entropy
Grayscale image	256	6.85	7.998
Color image	512	7.21	7.997
Text file	128	4.12	7.999
Binary file	1024	6.34	7.998

The entropy values of encrypted data are consistently close to the theoretical maximum of 8 bits per byte, indicating near-ideal randomness and absence of statistical patterns exploitable by attackers.

Histogram analysis was performed to evaluate the distribution of byte values before and after encryption. The results are presented in Table 2.

Table 2 - Histogram distribution characteristics

Data Type	Original Distribution	Encrypted Distribution
Grayscale image	Non-uniform	Uniform
Color image	Structured peaks	Uniform
Text file	Highly skewed	Uniform
Binary file	Semi-structured	Uniform

The uniform distribution observed in encrypted data confirms effective elimination of statistical dependencies, significantly reducing vulnerability to frequency-based attacks.

To assess resistance to differential cryptanalysis, NPCR (Number of Pixels Change Rate) and UACI (Unified Average Changing Intensity) metrics were calculated. The results are presented in Table 3.

Table 3 - Sensitivity metrics

Metric	Value
NPCR	99.62%
UACI	33.41%

The obtained values are close to ideal theoretical benchmarks (NPCR≈99.6%, UACI≈33%), demonstrating strong avalanche effect and high resistance to differential attacks. Table 4 - shows the comparative analysis results.

Table 4 - Comparison with existing metods

Method	Entropy	Correlation	Differential Resistance	Security Level
AES only	High	Medium	High	High
Chaos only	Medium	Low	Medium	Medium
Proposed method	High	Low	High	Very High

The hybrid approach combines the formal cryptographic strength of AES with the decorrelation capabilities of chaotic preprocessing, resulting in superior overall security.

Conclusion. The software implementation of the developed hybrid encryption algorithm is written in Python versions 3.10–3.11. This language was chosen due to the availability of advanced libraries for numerical computations and cryptographic operations, as well as the ease of experimental verification of the algorithms.

The software package implements a full cycle of cryptographic transformations and includes the following logical modules:

- data input and pre-processing module;
- key material generation module;
- chaotic sequence generation module;
- chaotic permutation (confusion) module;
- chaotic diffusion (diffusion) module;
- AES-256-GCM authenticated encryption module;
- inverse transform (decryption) module;
- statistical metrics calculation module (entropy).

The general scheme of software implementation corresponds to the following sequence:

$$P \to Chaos(P) \to AES - GCM \to C,$$

$$C \to AES - GCM^{-1} \to Chaos^{-1}(P) \to \hat{P}.$$

The correctness of the program' s operation is checked by the condition:

$$P = \hat{P}.$$

The goal of the numerical experiment is to test the performance and cryptographic properties of the developed algorithm for encrypting images and files based on chaotic sequences. The experiment aims to confirm the following properties of the algorithm:

- correctness of encryption and decryption procedures;
- high sensitivity to changes in input data and key;
- destruction of the statistical structure of the original data;
- resistance to statistical and differential cryptanalysis - acceptable computational efficiency.
- test files from 64 KB to 4 MB in size.

Computational experiments conducted allowed for a comprehensive evaluation of the cryptographic properties of the developed encryption algorithm, which is based on the use of chaotic sequences and permutation and diffusion operations. The results demonstrate the algorithm' s resistance to the main types of cryptanalysis and confirm its applicability for protecting images and files in byte representation.

Python Date 28/1/2026 Time 12:11

Name original misx.txt file

Encrypted file name mshifr.txt

Length of original file = 4001

Key file length = 276

Encrypted file length = 4052

Encryption time (in seconds) = 0

The name of the decrypted mshifr.txt

The name of the decrypted file is mrez.txt

Decryption time (in seconds) = 0

Experimental data show that the statistical characteristics of the ciphertext are virtually independent of the input file size and structure. This demonstrates the scalability of the proposed approach and its robustness when processing data of various types – from structured images to binary files of arbitrary formats.

Calculations of the encrypted data' s entropy show that its values in all experimental series are within a range close to the theoretical maximum value of 8 bits for byte data. This indicates a nearly uniform distribution of bytes in the ciphertext and the absence of any discernible statistical patterns.

In the context of cryptographic interpretation, this means that an attacker cannot obtain useful information about the structure of the original data based on frequency analysis of the ciphertext. Unlike original images and binary files, for which the byte distribution is significantly uneven, encrypted data exhibits properties close to random.

Thus, high entropy confirms the effectiveness of the applied chaotic transformations and diffusion operations in terms of destroying the statistical structure of the input data.

Compared to classical encryption algorithms without preprocessing, the proposed approach offers several advantages. On the one hand, it provides cryptographic properties comparable to modern standards (high entropy, lack of correlation, resistance to differential attacks). On the other hand, chaotic permutation and diffusion achieve additional destruction of the spatial structure of images.

Unlike purely chaotic encryption algorithms, which are often evaluated only by empirical metrics, the developed method relies on a formalized numerical scheme and demonstrates robust statistical properties on a wide range of test data.

Thus, the obtained results confirm the feasibility of a hybrid approach that combines the ideas of chaotic dynamics and classical cryptography.

Experimental results show that the algorithm' s computational complexity is primarily determined by the chaotic permutation step, implemented through sorting, and is O(NlogN). For file sizes up to several megabytes, the algorithm demonstrates acceptable execution time and can be used in practical image and file protection applications.

Литература

1. Адаменко М. Основы классической криптологии. Секреты шифров и кодов. – М.: Издательство «ДМК Пресс», 2023. - 297 с. ISBN 978-5-89818-556-5.

2. Аграновский, А.В. Практическая криптография: алгоритмы и их программирование. – М.: СОЛОН-Пресс, 2021. – 256 с. ISBN: 5-98003-002-6.

3. Sysoev V.V., Bykov A.Yu. Digital watermark processing algorithms for copyright protection of graphic files // Voprosy kiberbezopasnosti.- 2025. -Vol.5(69)- P.139-148. DOI 10.21681/2311-3456-2025-5-139-148.

4. Mazakova A., Jomartova Sh., Mazakov T., Brzhanov R., Gura D. The Use of Artificial Intelligence to Increase the Functional Stability of UAV // International Review if Aerospace Engineering (IREASE). -2024.- Vol.17(3). - P.98-106. DOI 10.15866/irease.v17i3.25067.

5. Mazakova A., Jomartova S., Mazakov T., Shormanov T., Amirkhanov B. Controllability of an unmanned aerial vehicle // IEEE 7th International Energy Conference (ENERGYCON). - 2022. - P.1-5. DOI 10.1109/ENERGYCON53164.2022.9830244.

6. Liu R., Dou X., Wang X., Li Q., Mazakov T. Marine moving target detection algorithm based on improved YOLOv8. Proc. SPIE 13780 // Second International Conference on Image Processing and Artificial Intelligence (ICIPAI 2025). – 2025. DOI 10.1117/12.3072475.

7. Бабаш А.В., Шанкин Г.П. Криптография. – М.: СОЛОН-Пресс, 2007. - 512 с. ISBN 5-93455-135-3.

8. Бернет С., Пэйн С. Криптография. – М.: БИНОМ, 2002. – 384 с.

9. Bauer F.L. Decrypted Secrets - Methods and Maxims of Cryptology. - Springer, 2007.- 4 p. ISBN 978-3-540-60418-1.

10. Граймс Р.А. Апокалипсис криптографии. Подготовка криптографии к квантовым вычислениям. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 290 с. ISBN 978-5-97060-837-1.

11. Грибунин В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В. Цифровая стеганография. – М.: СОЛОН-Пресс, 2009. - 264 с. ISBN 5-98003-011-5.

12. Земор Ж. Курс криптографии. – М., Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2019. – 256 с. ISBN 5-93972-510-4.

13. Зубов А.Ю. Совершенные шифры. – М. Гелиос АРВ, 2003. – 160 с. ISBN 5-85438-076-5.

14. Зуйкова О.Л. Основы криптографической защиты информации. – М.: МИЭМ, 2005. – 207 с. ISBN 5-94506-122-0.

15. Ильин М.Е., Калинкина Т.И., Пржегорлинский В.Н. Криптографическая защита информации в объектах информационной инфраструктуры. – МДК «Криптографическая защита информации», 2026. – 288 с. ISBN 978-5-0054-4085-3.

16. Молдовян Н.А., Молдовян А.А. Введение в криптосистемы с открытым ключом. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с. ISBN 5-94157-563-7.

17. Мао В. Современная криптография теория и практика. – М.:Вильямс, 2005. – 768с. ISBN 5-8459-0847-7.

18. Zolotareva I., Gorodinskaya I. Cryptographic methods of information protection. // Science & World, 2022. – P.1-5. DOI: 10.26526/2307-9401-2022-1-1-5

19. Michael N.J., Ogoegbulem O., Obukohwo V., Henry E.E. Number theory in rsa encryption systems // International Journal of Mathematics, 2023. – P.7-16. DOI:10.5281/zenodo.10209900

20. Кочергин В.И. Практика теории многомерных цифро-векторных множеств (криптология). – Томск : Издательство Томского университета, 2012. – 218 с.

21. Крэндалл Р., Померанс К. Простые числа: Криптографические и вычислительные аспекты. – М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 664 с.

22. Кутин В.Н., Молчанов В.А. Статистический анализ конечных групп и их применение в криптографии // XXIII Международная научно-техническая конференция «Технические средства защиты информации», 2025. – С. 201-205.

23. Нестеренко А.Ю. Теоретико-числовые методы в криптографии: учебное пособие. – Моск. гос. ин-т. электроники и математики, 2012. – 224 с.

References

1. Adamenko M. Osnovy klassicheskoj kriptologii. Sekrety shifrov i kodov. – M.: Izdatel’stvo «DMK Press», 2023. - 297 s. ISBN 978-5-89818-556-5. [in Russian]

2. Agranovskij, A.V. Prakticheskaja kriptografija: algoritmy i ih programmirovanie. – M.: SOLON-Press, 2021. – 256 c. ISBN 5-98003-002-6. [in Russian]

3. Sysoev V.V., Bykov A.Yu. Digital watermark processing algorithms for copyright protection of graphic files // Voprosy kiberbezopasnosti.- 2025. -Vol.5(69)- P. 139-148. DOI10.21681/2311-3456-2025-5-139-148.

4. Mazakova A., Jomartova Sh., Mazakov T., Brzhanov R., Gura D. The Use of Artificial Intelligence to Increase the Functional Stability of UAV // International Review if Aerospace Engineering (IREASE). -2024.- Vol.17(3). - P.98-106. DOI 10.15866/irease. v17i3.25067.

5. Mazakova A., Jomartova S., Mazakov T., Shormanov T., Amirkhanov B. Controllability of an unmanned aerial vehicle // IEEE 7th International Energy Conference (ENERGYCON). - 2022. - P.1-5. DOI 10.1109/ENERGYCON53164.2022.9830244.

6. Liu R., Dou X., Wang X., Li Q., Mazakov T. Marine moving target detection algorithm based on improved YOLOv8. Proc. SPIE 13780 // Second International Conference on Image Processing and Artificial Intelligence (ICIPAI 2025). – 2025. DOI 10.1117/12.3072475.

7. Babash A.V., Shankin G.P. Kriptografija. - M.: SOLON-Press, 2007. - 512 s. ISBN 5-93455-135-3. [in Russian]

8. Bernet S., Pjejn C. Kriptografija. -M.: BINOM, 2002. - 384 s. [in Russian]

9. Bauer F.L. Decrypted Secrets - Methods and Maxims of Cryptology. - Springer, 2007.- 4 p. ISBN 978-3-540-60418-1.

10. Grajms R.A. Apokalipsis kriptografii. Podgotovka kriptografii k kvantovym vychislenijam. - M.: DMK Press, 2020. - 290 s. ISBN 978-5-97060-837-1. [in Russian]

11. Gribunin V.G., Okov I.N., Turincev I.V. Cifrovaja steganografija. - M.: SOLON-Press, 2009. - 264 c. ISBN 5-98003-011-5. [in Russian]

12. Zemor Zh. Kurs kriptografii. - M., Izhevsk: Reguljarnaja i haoticheskaja dinamika, Institut komp’juternyh issledovanij, 2019. - 256 c. ISBN 5-93972-510-4. [in Russian]

13. Zibo A.Ju. Sovershennye shifry. - M. Gelios ARV, 2003. - 160 c. ISBN 5-85438-076-5. [in Russian]

14. Zujkova O.L. Osnovy kriptograficheskoj zashhity informacii. - M.: MIJeM, 2005. - 207 s. ISBN 5-94506-122-0. [in Russian]

15. Il’in M.E., Kalinkina T.I., Przhegorlinskij V.N. Kriptograficheskaja zashhita informacii v objektah informacionnoj infrastruktury. - MDK «Kriptograficheskaja zashhita informacii», 2026. - 283 c. ISBN 978-5-0054-4085-3. [in Russian]

16. Moldovjan N.A., Moldovjan A.A. Vvedenie v kriptosistemy s otkrytym kljuchom. – SPb.: BHVPeterburg, 2005. - 286 s. ISBN 5-94157-563-7. [in Russian]

17. Mao V. Sovremennaja kriptografija teorija i praktika. – M.: Vil’jams, 2005. - 768s. ISBN 5-8459-0847-7. [in Russian]

18. Zolotareva I., Gorodinskaya I. Cryptographic methods of information protection. // Science & World, 2022. - P. 1-5. DOI 10.26526/2307-9401-2022-1-1-5.

19.Michael N.J., Ogoegbulem O., Obukohwo V., Henry E.E. Number theory in rsa encryption systems // International Journal of Mathematics.- 2023.- Vol.6(11)- P. 7-16. DOI 10.5281/zenodo.10209900.

20. Kochergin V.I. Praktika teorii mnogomernyh cifro-vektornyh mnozhestv (kriptologija). – Tomsk : Izdatel’stvo Tomskogo universiteta, 2013. - 217 s. ISBN 978-5-7511-2072-7. [in Russian]

21. Krjendall R., Pomerans K. Prostye chisla: Kriptograficheskie i vychislitel’nye aspekty. - M.: URSS: Knizhnyj dom «LIBROKOM», 2011. -664 c. ISBN 978-5-453-00016-6. [in Russian]

22. Kutin V.N., Molchanov V.A. Statisticheskij analiz konechnyh grupp i ih primenenie v kriptografii

// XXIII Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija «Tehnicheskie sredstva zashhity informacii», 2025. - S. 201-205. [in Russian]

23. Nesterenko A.Ju. Teoretiko-chislovye metody v kriptografii: uchebnoe posobie. - Mosk. gos. in-t. jelektroniki i matematiki, 2012. - 224 s. ISBN 978-5-94506-320-4. [in Russian]

Author information

Mazakova A.- PhD, senior lecturer at al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan, e-mail: aigerym97@mail.ru;

Jomartova Sh.- Doctor of Technical Sciences, Professor of Al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan, e-mail: jomartova@mail.ru;

Yessenbaeva A.- doctoral student at L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan, e-mail: Yessenbaeva@mail.ru;

Kulzhanova A.- doctoral student at Al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan, e-mail: akbota.kulzhanova1594@gmail.com;

Zhao Baidong- Senior Lecturer, Dalian Polytechnic University, China, Dalian, e-mail: xiaoyuezhishang@vip.qq.com.

Сведения об авторах

Мазақова Ә.Т. - PhD, старший преподаватель КазНУ имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: aigerym97@mail.ru;

Джомартова Ш.А.- д.т.н., профессор КазНУ имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,e-mail: jomartova@mail.ru;

Есенбаева А.Л.- докторант ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: Yessenbaeva@mail.ru;

Кульжанова А.А.- докторант КазНУ имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: akbota.kulzhanova1594@gmail.com;

Чжао Байдун – старший преподаватель, Даляньский политехнический университет,Далянь, Китай, e-mail: xiaoyuezhishang@vip.qq.com.

IRSTI 20.53.19 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1588**

A BLOCKCHAIN-ENABLED ARCHITECTURE FOR SECURE PERSONAL DATA PROCESSING AND STORAGE

[1]A.N. Tokzhigitova, [1]D.N. Yerzhembayev, [2]S.K. Zhumagulova

[1]Toraighyrov university, Pavlodar, Kazakhstan,
[2]Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan

Corresponding author: saulesha_81@mail.ru

The article examines the problem of ensuring the integrity, confidentiality and verifiability of personal data in the context of the growth of digital services and an increase in the number of cyber incidents. The relevance of the study is due to the need to increase trust in government and corporate information systems, especially when processing biometric data. The purpose of the work is to develop and justify the architecture of a blockchain platform for the secure storage and processing of personal data based on an on-chain/off-chain hybrid model. The research methodology includes a systematic analysis of data protection requirements, the design of an information system architecture, the use of cryptographic methods (SHA-256, AES-256) and experimental verification of the implemented prototype. The proposed architecture assumes the storage of personal data in an internal secure storage (off-chain), whereas only hash values and service metadata are recorded in the blockchain journal (on-chain), ensuring the immutability and traceability of operations. As part of the work, a prototype system was implemented with access rights differentiation, mechanisms for single-time fixation of critical attributes (IIN and biometric document), control of block immutability and a procedure for detecting data substitution attempts. The experimental verification confirmed the platform' s ability to detect unauthorized changes both in files and in the block log, while maintaining the ability to adjust non-critical fields. The results demonstrate that the hybrid blockchain architecture provides a balance between performance, scalability and a high level of trust in personal data processing and can be used to modernize information systems of government and corporate structures.

Keywords: blockchain technologies, personal data, distributed registries, modern data storage systems, information security, data immutability, cryptographic mechanisms.

ЖЕКЕ ДЕРЕКТЕРДІ ҚАУІПСІЗ ӨҢДЕУ МЕН САҚТАУДЫ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТЕТІН БЛОКЧЕЙН ТЕХНОЛОГИЯСЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН АРХИТЕКТУРА

[1]А.Н. Токжигитова, [1]Д.Н. Ержембаев, [2]С.К. Жумагулова

[1]Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан,
[2]Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды Ұлттық Зерттеу университеті, Қарағанды, Қазақстан,
e-mail:saulesha_81@mail.ru

Мақалада цифрлық қызметтердің өсуі және киберқауіптердің көбеюі жағдайында дербес деректердің тұтастығын, құпиялылығын және тексерілуін қамтамасыз ету мәселесі қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі мемлекеттік және корпоративтік ақпараттық жүйелерге, әсіресе биометриялық деректерді өңдеу кезінде сенімділікті арттыру қажеттілігімен байланысты. Мақсаты – тізбектегі/тізбектен тыс гибридті модель негізінде жеке деректерді қауіпсіз сақтау және өңдеу үшін блокчейн платформасының архитектурасын әзірлеу және негіздеу. Зерттеу әдістемесі деректерді қорғау талаптарын жүйелі талдауды, ақпараттық жүйенің архитектурасын жобалауды, криптографиялық әдістерді (SHA-256, AES-256) қолдануды және енгізілген прототипті эксперименттік тексеруді қамтиды. Ұсынылған архитектура жеке деректерді ішкі қауіпсіз жадта (тізбектен тыс) сақтауды көздейді, ал блокчейн журналында (тізбектегі) тек хэш мәндері мен қызмет метадеректері жазылады, операциялардың өзгермейтіндігі мен қадағалануын қамтамасыз етеді. Жұмыс шеңберінде

қол жеткізу құқықтарын саралаумен прототиптік жүйе, маңызды атрибуттарды (ЖСН және биометриялық құжат) бір реттік бекіту тетіктері, блоктың өзгермейтіндігін бақылау және деректерді алмастыру әрекеттерін анықтау тәртібі енгізілді. Эксперименттік тексеру платформаның маңызды емес өрістерді реттеу мүмкіндігін сақтай отырып, файлдарда да, блок журналында да рұқсат етілмеген өзгерістерді анықтау мүмкіндігін растады. Нәтижелер гибридті блокчейн архитектурасы өнімділік, ауқымдылық және жеке деректерді өңдеуге деген сенімнің жоғары деңгейі арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз ететінін және мемлекеттік және корпоративтік құрылымдардың ақпараттық жүйелерін жаңарту үшін пайдаланылуы мүмкін екенін көрсетеді.

Түйін сөздер: блокчейн технологиялары, дербес деректер, таратылған тізілімдер, деректерді сақтаудың заманауи жүйелері, ақпараттық қауіпсіздік, деректердің өзгермейтіндігі, криптографиялық механизмдер.

АРХИТЕКТУРА НА ОСНОВЕ БЛОКЧЕЙНА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ

[1]А.Н. Токжигитова, [1]Д.Н. Ержембаев, [2]С.К. Жумагулова✉

[1]Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан,
[2]Карагандинский Национальный Исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан,
e-mail:saulesha_81@mail.ru

В статье рассматривается проблема обеспечения целостности, конфиденциальности и проверяемости персональных данных в контексте роста цифровых сервисов и увеличения числа киберинцидентов. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения доверия к государственным и корпоративным информационным системам, особенно при обработке биометрических данных. Целью работы является разработка и обоснование архитектуры блокчейн-платформы для безопасного хранения и обработки персональных данных на основе гибридной модели on-chain/off-chain. Методология исследования включает в себя систематический анализ требований к защите данных, проектирование архитектуры информационной системы, использование криптографических методов (SHA-256, AES-256) и экспериментальную проверку реализованного прототипа. Предлагаемая архитектура предполагает хранение персональных данных во внутреннем защищенном хранилище (off-chain), тогда как в блокчейн-журнал (on-chain) записываются только хэш-значения и сервисные метаданные, что обеспечивает неизменность и прослеживаемость операций. В рамках работы был реализован прототип системы с разграничением прав доступа, механизмами однократной фиксации критических атрибутов (ИИН и биометрический документ), контролем неизменности блоков и процедурой обнаружения попыток подмены данных. Экспериментальная проверка подтвердила способность платформы обнаруживать несанкционированные изменения как в файлах, так и в журнале блокировок, сохраняя при этом возможность корректировки некритичных полей. Результаты демонстрируют, что гибридная блокчейн-архитектура обеспечивает баланс между производительностью, масштабируемостью и высоким уровнем доверия к обработке персональных данных и может быть использована для модернизации информационных систем государственных и корпоративных структур.

Ключевые слова: блокчейн-технологии, персональные данные, распределенные реестры, современные системы хранения данных, информационная безопасность, неизменность данных, криптографические механизмы.

Introduction. With the development of information technology, the volume of generated and stored data is rapidly growing. This data must not only be protected, but also organized so that its integrity and manageability are ensured. As the IT infrastructure becomes more complex and

the number of users increases, the requirements for security, reliability, and data availability are becoming more restrictive. Traditional approaches to information storage and management do not always guarantee the necessary level of trust in data, which encourages the search for architectures capable of ensuring transparency, verifiability and data protection.

The relevance of the research is due to the fact that as a result of digitalization of almost all spheres of life, personal data has become one of the key types of resources.

In practice, the main threats to data are usually grouped into three key areas. The first group is illegal access and information leakage, when confidential information becomes known to persons who do not have the appropriate authority. The second is the hidden substitution or distortion of data, in which records in the system are changed without legitimate grounds. The third is a violation of accessibility, when legitimate users are temporarily or permanently deprived of the opportunity to work with data due to failures, attacks, or deliberate actions [1].

According to the National Computer Incident Response Service KZ-CERT, in 2023, about 34.5 thousand cybersecurity incidents were recorded in Kazakhstan, which is about twice as much as in 2022 and corresponds to about 17 thousand incidents the year earlier. In 2024, their number increased to 68.1 thousand, that is, almost twice as much as in 2023. According to KZ-CERT, about 34.7 thousand cyber incidents have already been registered in the first half of 2025 alone, which is almost comparable to the total for the whole of 2023. Based on these dynamics, it can be expected that by the end of 2025, the total number of incidents may exceed 70 thousand cases [2].

Organizational and technical measures are used to reduce the risk of leakage: access rights differentiation, user authentication, encryption of communication channels and stored information, control of personnel actions, leak prevention systems (DLP) and other means of protection. Backups, fault-tolerant clusters, distributed storage, duplication of critical services, and proven incident recovery procedures are used to ensure accessibility [3].

Threats of data substitution and distortion are more difficult to deal with. Unlike an obvious leak or denial of service, hidden modification of records can go unnoticed for a long time: the system continues to work, but some of the information no longer corresponds to reality. The facts of data substitution are especially critical for systems that work with sensitive information, such as biometric personal data, for example, fingerprints. In such conditions, an architecture is required that allows reliable recording of the fact and sequence of operations with data, as well as the possibility of subsequent verification of their immutability.

One of the most promising areas for solving these problems is the use of blockchain technology. Blockchain as a cryptographically secure platform provides immutability and verifiability of records, distributed data storage and the absence of a single control center [4].

The purpose of the research is to develop and substantiate the architecture of a blockchain platform for the secure storage and processing of personal data, ensuring a high level of confidentiality, integrity, and accessibility of information, as well as transparency and verifiability of data transactions. To achieve this goal, the following tasks are being solved:

- analysis of existing methods and architectures for ensuring the security of personal data using blockchain technologies;

- development of an architectural model of a blockchain platform based on a hybrid approach (on-chain/off-chain);

- implementation of a prototype system and conducting an experimental evaluation of its effectiveness in terms of safety, integrity and performance.

Materials and methods. The research methodology is based on a comprehensive interdisciplinary approach combining methods of system analysis, principles of designing modern information systems, cryptographic data protection mechanisms and experimental methods

for evaluating the effectiveness of software solutions [5]. This approach allows us to consider the developed platform not only as a software implementation, but also as an object of scientific analysis, within which architectural solutions are justified, personal data processing processes are formalized, and a quantitative assessment of the results of implementation is carried out. The use of system analysis provides identification of key requirements for security, availability and manageability of data, and also allows you to determine the relationship between the components of the information infrastructure and potential sources of threats [6].

Within the framework of the research, special attention is paid to designing the architecture of an information system focused on increasing the level of trust in data. The architectural approach is based on the principles of modularity, scalability and fault tolerance, which makes it possible to integrate blockchain components into the existing server infrastructure without significantly reducing performance. The development takes into account the requirements for the protection of personal data, including the need to maintain confidentiality and minimize the risks of information leakage. Cryptographic methods are considered as a basic tool for ensuring data integrity and authenticity, including the use of hash functions, timestamps, and access control mechanisms [5].

A key element of the methodology is the use of a hybrid data storage architecture, which involves the separation of information processing logic between internal secure storage and a distributed registry. Personal data is placed in an internal database (off-chain), which operates in a trusted environment and ensures a high level of confidentiality and manageability of information. The blockchain registry (on-chain) records exclusively cryptographic hash values, transaction identifiers, and service metadata that allows you to track the status of records and confirm their immutability. This approach avoids placing sensitive information in a distributed network, while maintaining the benefits of immutability and transparency of operations.

Using an off-chain/on-chain storage model provides a balance between system performance and the level of trust in data. The centralized repository (off-chain) is responsible for the operational processing and management of personal data, while the blockchain registry (on-chain) acts as an independent verification mechanism, recording the sequence of operations and eliminating the possibility of hidden modification of records. The research methodology involves the development of an architectural model of the platform, its software implementation and subsequent experimental verification in conditions of simulation of various scenarios of the system, including legitimate user operations and attempts to unauthorized data modification.

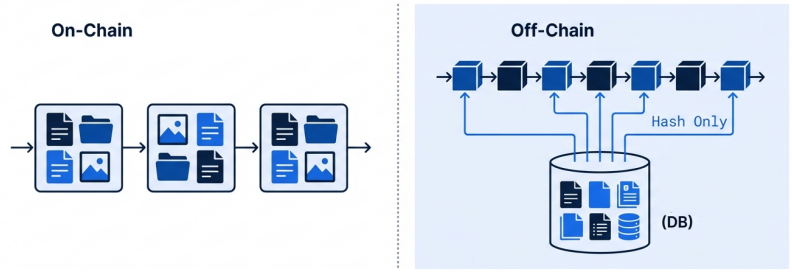


Fig.1 - Comparison of on-chain and off-chain data storage architectures

The presented Figure 1 illustrates a comparative analysis of two architectural approaches to organizing data storage in systems using blockchain technology: a fully distributed model (on-chain) and a hybrid architecture (off-chain/on-chain). As part of the traditional on-chain approach, data is placed directly in the blockchain registry, which leads to an increase in the volume of the blockchain,

complicating scaling processes and increasing demands on computing resources. In addition, hosting data on a distributed network can create additional privacy risks, especially when dealing with personal or sensitive information.

In contrast, the hybrid architecture (off-chain) involves storing the bulk of the data in an external storage or database, whereas the blockchain (on-chain) only records cryptographic hash values and metadata. This approach makes it possible to use the blockchain as a mechanism for fixing the state of data and controlling its immutability, while maintaining high system performance and manageability. Integrity verification is performed by comparing the current hash value of the data with the reference value recorded in the blockchain log, which makes it possible to detect unauthorized changes.

Thus, the proposed architectural model provides a balance between the requirements of security and scalability of the information system. Storing data in an external secure storage (off-chain) allows you to maintain confidentiality and reduce the load on the distributed registry, while using a blockchain journal (on-chain) ensures transparency of operations, cryptographic verifiability and resistance to hidden modification of information.

In a relatively short historical period, blockchain technology has gone from an experimental platform for cryptocurrencies to one of the key end-to-end digital technologies underlying modern accounting, authentication and data storage systems. If at an early stage interest in blockchain was mainly focused on electronic money, today it is considered as a universal mechanism for building reliable registries, where trust in data, verifiability of transaction history and resistance to unauthorized changes are critical [7].

This is especially true for systems working with personal data, where any hidden substitution of records can lead to serious legal consequences for citizens and organizations.

The classic definition of blockchain is associated with the work of S. Nakamoto ”Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System”, which proposed a decentralized payment system without a single trust center. In this system, all operations were recorded in a sequence of blocks forming a so-called ”chain”. Each block contains a hash of the previous block and a set of confirmed transactions. Over time, the idea of storing data in the form of an immutable chain of blocks linked by cryptographic hashes was transferred far beyond the financial sector and began to be considered as a general principle of organizing trusted registries [8].

From an engineering point of view, the blockchain can be represented as a distributed journal in which records are grouped into blocks, and each subsequent block contains a cryptographic fingerprint of the previous block. This seemingly simple idea ensures that any attempt to secretly change an already committed record leads to a change in the hash of the corresponding block and automatically violates the integrity of the entire subsequent chain.

Cryptographic hash functions play a key role in ensuring the immutability of information in the blockchain. The hash function accepts an arbitrary message as input and calculates a fixed-length hash value for it. An important property of the cryptographic hash function is the inability to recover the original message from the hash in a reasonable time. A small change in the input data leads to a radical change in the hash value [8].

To illustrate how the hash function works, consider a simplified example. Let’ s assume that for an arbitrary data set, we first represent it as a sequence of digits, then add up all the digits and take the result modulo 97. So, for the number 123456, the sum of the digits is 1+2+3+4+5+6 = 21, and the hash value will be 21 mod 97 = 21. If you change the source data, for example, take 78039 (7+8+0+3+9 = 27), then the hash will change: 27 mod 97 = 27. The set of possible input values is practically unlimited, while the range of hash values is only 97 options (from 0 to 96), so different input data inevitably sometimes gives the same hash. Knowing only the hash value, it is impossible to unambiguously restore the original message. There are dozens and hundreds of different combinations of numbers that lead to the same result.

Real cryptographic hash functions, such as SHA 256, use a much more complex algorithm, and the hash length is tens of bytes. This leads to the fact that in practice it is impossible to find another block of data with the same hash value or restore the original data using only one hash. From this point of view, the hash function can be considered as a one-way conversion. It is easy to calculate a hash from the data, but it is almost impossible to perform the reverse transformation.

Structurally, each block in the classic blockchain can be roughly divided into a header and a body. The header contains service fields such as the hash of the previous block, the timestamp of the block formation, the block number, the parameters of the consensus algorithm, and other metadata. The block body contains a set of records that the system places in the registry at this step. The hash of the block itself is calculated based on the block header and contents. As a result, the block can be represented as a data container with dynamic contents that are cryptographically linked to both the previous block and its own hash value [8].

The block chain is formed sequentially. First, a so-called genesis block is created, in which the ”hash of the previous block” field takes on a certain value. Each subsequent block includes the hash of the previous block in the header and thus subscribes to the entire history recorded earlier.

If an attacker wants to imperceptibly change one of the old records, he will have to change the body of the corresponding block, which will change its hash value. But this hash is already written into the header of the next block, so you will have to recalculate the next block, and so on down to the last one. Schematically, the structure of the blockchain chain is shown in Figure 2.

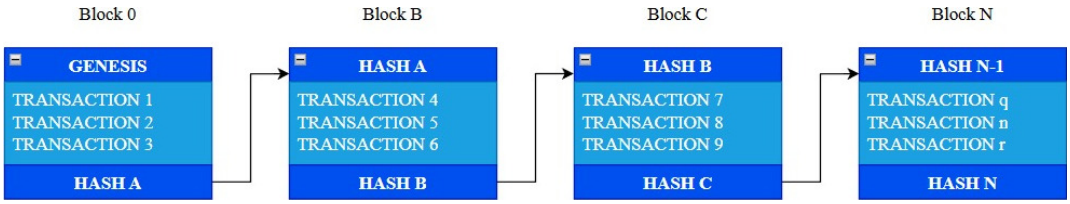


Fig. 2 - Structure of a Blockchain Chain

Having formulated general architectural approaches and chosen a private blockchain system as the target model, let’ s turn to the analysis of already implemented solutions. Practice shows that it is on the example of specific projects at the state and corporate level that the strengths and weaknesses of various models of data storage and processing organization are best demonstrated.

One of the most well-known examples of blockchain integration into public infrastructure is the use of KSI Blockchain technology in Estonia [9]. This technology protects the integrity of key government registries and electronic services. The distributed log records the hash values of records, data operations, and service metadata. At the same time, personal data of citizens, medical records and information about business activities remain in the internal systems of departments, and the blockchain is used as a means of detecting attempts to imperceptibly modify such records.

Similar ideas have been implemented in a number of projects in neighboring countries. In Georgia, the system of registration of real estate rights has been upgraded based on blockchain technologies. Confirmations of transactions with records are recorded in the blockchain, which increases citizens’ trust in the registry and reduces the possibility of imperceptible substitution of information about the owners [10]. In the Russian Federation, the Masterchain network, created by the Fintech Association with the participation of the Bank of Russia, is used as an industry platform for the financial sector. It is focused on the exchange of legally relevant messages and documents between market participants and provides an immutable transaction log [11].

In the corporate sector, blockchain is actively used to ensure the transparency of supply chains and to confirm the origin of goods. An example is the IBM Food Trust platform, where food industry participants record key product lifecycle events on the blockchain. This simplifies the audit and investigation of incidents related to product quality and safety [8]. Similar principles are used in the Everledger system, focused on accounting for the origin and movement of diamonds and other valuable assets, where the blockchain helps reduce the risk of object substitution and falsification of accompanying documentation [10].

In the healthcare sector, blockchain is used to record the fact of making changes to medical records and the history of accessing them, as well as to organize secure data exchange between medical institutions [9]. In the field of education, projects are being implemented to use blockchain to store academic achievements and issue digital certificates and diplomas.

For Kazakhstan, blockchain is gradually becoming one of the tools for developing e-government and increasing trust in digital services. Separate pilot projects are aimed at using a distributed registry to record legally significant actions in government information systems, log data accesses, and monitor the integrity of registry entries. Solutions based on NFT diplomas are being implemented to verify the authenticity of educational documents through a distributed registry [12].

These examples show that in most practical solutions, blockchain acts as a superstructure over traditional information systems responsible for the immutability and the traceability of critical records. The most stable schemes are those in which sensitive data continues to be stored in domain repositories, and their hashes and transaction logs are transferred to the distributed registry. This approach seems to be the most justified when developing a platform for working with personal data.

For the tasks solved in this research, an important conclusion is that blockchain technology has shown its viability as a means of ensuring the immutability and traceability of data transactions in real systems, including scenarios with the processing of personal information.

Within the framework of the blockchain platform being developed, the latter is considered as a trusted transaction log, which records the facts of registration, updating and use of fingerprint drawings, while the images themselves are stored in external repositories. Schematically, the proposed hybrid architecture of the platform is shown in Figure 3.

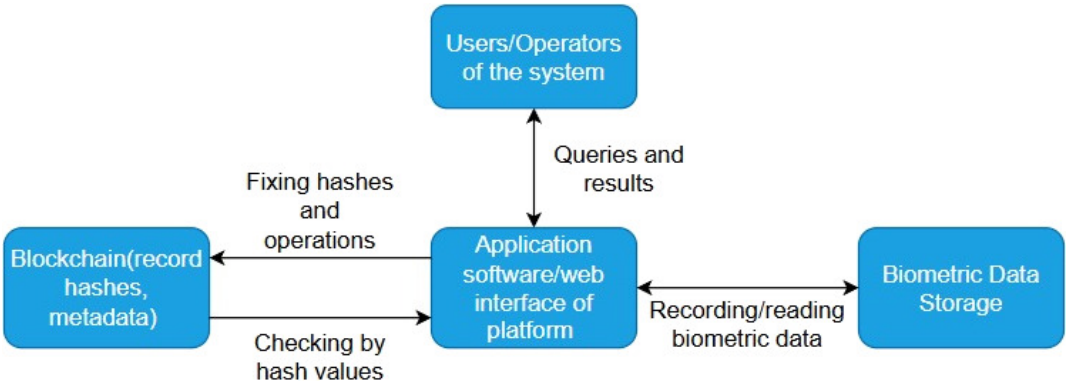


Fig.3 - Hybrid platform architecture. Blockchain magazine and secure Biometric data storage

To evaluate the effectiveness of the developed blockchain platform, a set of quantitative and qualitative criteria was introduced. The evaluation methodology includes analysis of integrity verification accuracy, transaction processing performance, scalability under increasing load,

and resistance to unauthorized modification of records. In addition, threat modeling was performed based on confidentiality, integrity, and availability principles.

Table 1 - Evaluation criteria and performance metrics of the blockchain platform

Evaluation category	Metric
Integrity	hash mismatch detection rate
Performance	average transaction processing time
Scalability	blockchain growth rate
Security	unauthorized modification detection
Availability	recovery time after failure

Results and discussion. In international practice, personal data refers to any information related to an identified or identifiable individual: last name, first name, identifiers, location information, online identifiers, health data, and other characteristics that directly or indirectly identify a person. This approach is enshrined, in particular, in the EU General Data Protection Regulation (GDPR, Regulation (EU) 2016/679 [13].

GDPR is considered one of the most well-developed and stringent regulations in the field of personal data protection. It sets out a set of basic principles for data processing, which in fact serve as a guideline for many other jurisdictions. These are legality, integrity and transparency of processing, limitation of purposes, minimization of data, accuracy, limitation of retention periods, integrity and confidentiality, accountability of the data storage operator.

A set of rights of the data subject, enshrined in European law, is also essential: the right to access their data, to correct, delete, restrict processing, data portability, as well as the right to object to processing. These rights are combined with the obligations of operators to obtain unambiguous and informed consent, document processing processes, and notify supervisors and subjects of security breaches and unauthorized access. In addition to GDPR, other regulatory models are actively developing in the world. For example, the Council of Europe Convention 108+ on the Protection of Persons in connection with Automated Processing of Personal Data [14].

Technological requirements for the architecture of information systems are becoming a separate area of development. The concepts of minimizing the attributes collected, data encryption, separation of identifiers and profile content, as well as mandatory maintenance of detailed access and change logs are being implemented everywhere. These approaches are closely related to architectural solutions, including the use of distributed registries and blockchain technologies, which allow for provable audit of operations while maintaining controlled access to the data itself.

In the Republic of Kazakhstan, the basic act in the field of personal data is the Law ”On Personal Data and their Protection” dated May 21, 2013 No.94-V. The purpose is to ensure the protection of human and civil rights and freedoms in the collection and processing of personal data. The law introduces the concepts of personal data, the subject of personal data, the owner, the operator and a third party, thereby formalizing the roles of the participants in the processing. Personal data is defined as information related to a specific or identifiable data subject, recorded on electronic, paper or other material media [15].

The law establishes the rights of a personal data subject, such as the right to receive information about the nature and scope of the information being processed, to access their data, to clarify, block, destroy it in case of illegal processing or the need to bring it into line with the actual state of affairs.

At the same time, the responsibilities of the owners and operators of personal data are established to ensure confidentiality, take legal, organizational and technical protection measures, restrict access to authorized persons and keep records of processing operations.

An important role is also played by the Law of the Republic of Kazakhstan ”On Informatization”, which establishes requirements for the construction and operation of state information systems, for the deployment of information and communication infrastructure, as well as for ensuring information security. On its basis, requirements are introduced for the localization of certain categories of personal data, the deployment of critical systems on the territory of Kazakhstan and the use of certified protective equipment [16].

In addition, the cybersecurity Concept ”Cyber Shield of Kazakhstan”, approved by a government decree, defines strategic guidelines in terms of data security. The document defines the goals for the protection of electronic information resources, state information systems and communication networks, and also establishes the need to develop a national cybersecurity infrastructure [17].

In the context of digitalization, Kazakhstan is also implementing the Digital Kazakhstan state program, which focuses on expanding electronic services, developing e-government and improving the level of digital literacy of the population. All this leads to a steady increase in the volume of personal data processed and the complexity of their storage infrastructure [18].

Despite the existence of basic legislative regulation and strategic documents, the practice of recent years shows that serious problems remain in the field of personal data protection. The rapid growth of electronic services and the integration of government information systems are outpacing the development of information security mechanisms and law enforcement practices, and the level of awareness of citizens about the risks remains insufficient. At the same time, there are not only threats of unauthorized disclosure of information, but also risks of deliberate substitution or distortion of data in key registries.

Major incidents involving the leakage of personal data of a significant part of the population of Kazakhstan have attracted particular public attention. Arrays of data containing information about millions of citizens appeared in the public domain. It follows from official statements and media publications that leaks are often associated not so much with external hacker attacks as with the unauthorized use of legitimate accounts with access to government databases. A separate group consists of incidents involving the deliberate entry of deliberately false information into government information systems. In a number of high-profile cases, employees of public service centers, using official access, changed or added information to registers, which allowed them to illegally process documents, register property, or receive services on behalf of others. Such actions lead not only to the violation of the rights of specific citizens, but also undermine the credibility of state registers as a whole [19,20].

With the dominance of a centralized architecture based on traditional databases and broad administrator authority, any transaction logs, access protocols, and even primary records can potentially be modified by administrators themselves or by intruders who have obtained their authority. This makes it more difficult to investigate incidents, reduces confidence in the results of electronic procedures, and makes it more difficult to prove the facts of unauthorized interference, including data substitution.

The listed trends and problems directly correlate with the tasks set in this master’ s project. On the one hand, requirements have already been formulated at the state level to ensure the confidentiality, integrity and accessibility of personal data, to localize critical information resources and increase the transparency of processing processes. On the other hand, the practice of massive leaks and internal abuse of access demonstrates that formal requirements and traditional architectures alone are not enough to ensure an adequate level of trust in the personal data storage infrastructure.

The development of a blockchain platform for storing and processing personal data is considered

by the author as one of the options for responding to these challenges. It should combine the mechanisms of cryptographic protection and immutability of records with the possibility of flexible access control and integration.

However, to justify the relevance of developing and implementing a blockchain platform for processing and storing personal data, it requires not only an analysis of internal technical and legal parameters, but also a systematic assessment of the environmental factors in which the proposed solution will function.

One of the most common tools for this kind of assessment is PEST analysis, which allows a systematic description of the political, economic, social and technological factors affecting the implementation and operation of a platform for working with biometric data. The results of the analysis are presented in Table 2.

Table 2 - PEST analysis of the external environment

Factor	Description of the influencing factors	Influencing the project
Political	The state digitalization programs of the Republic of Kazakhstan, the development of e-government and public services in online format stimulate the implementation of solutions for the secure processing of personal data. At the same time, the requirements for the protection of personal data and critical information and communication infrastructure are being strengthened.	Prerequisites are being created for the testing of the blockchain platform in government and quasi-government organizations, but expectations for compliance with regulatory requirements and information security standards are increasing.
Economic	The increase in direct and indirect losses from cyber incidents makes investments in personal data protection economically justified. At the same time, the budgets of many organizations, especially regional and educational ones, are limited, which complicates the implementation of complex and expensive solutions.	The developed platform can be positioned as a relatively inexpensive and step-by-step solution, but it is necessary to justify economic efficiency and low total cost of ownership.
Social	The population is increasingly using digital services and expects organizations to take a responsible approach to personal data protection. At the same time, distrust of centralized repositories of biometric information persists, and society's sensitivity to incidents of data leakage and substitution increases.	The transparency and verifiability of data transactions provided by the blockchain platform can increase the trust of users and stakeholders. At the same time, work is required to improve the culture of information security and explain the principles of the system.
Technological	The development of open blockchain platforms, cryptographic libraries, and information security tools simplifies the creation of prototypes and pilot solutions. At the same time, the computing power of potential violators is growing, and new threats are emerging (including those related to the development of quantum computing).	The architecture of the platform should be flexible, with the possibility of updating cryptographic algorithms and scaling to a distributed network. At the project stage, it is justified to use local solutions with minimal requirements for communication channels and infrastructure.

Thus, the results of the PEST analysis show that the external environment is generally favorable for the development and implementation of a blockchain platform for working with biometric personal data. Digital transformation and government programs are stimulating the demand for transparent and reliable solutions, users are increasingly sensitive to issues of personal

information protection, and the technological base is gradually being formed. At the same time, there are still a number of limitations related to budgetary and infrastructural resources, a shortage of qualified specialists and the need for constant updating of the applied information security tools. These factors must be taken into account when choosing the architecture of the solution and planning the stages of its implementation.

The main functional idea of the solution is to combine classical data storage mechanisms with a local blockchain log, which records control values for critical fields and allows detecting substitution attempts. The system implements the differentiation of data into two groups:

1) critical data subject to fixation and integrity control through the block chain;

2) mutable attributes that can be adjusted by the user and do not affect the reference value.

The critical data includes the individual identification number (IIN) and the fingerprint image (hereinafter referred to as the document). A dataHash reference value is generated for this data. The remaining fields of the card (full name, employee's photo) can be changed without recalculating the reference value and without changing previously fixed blocks.

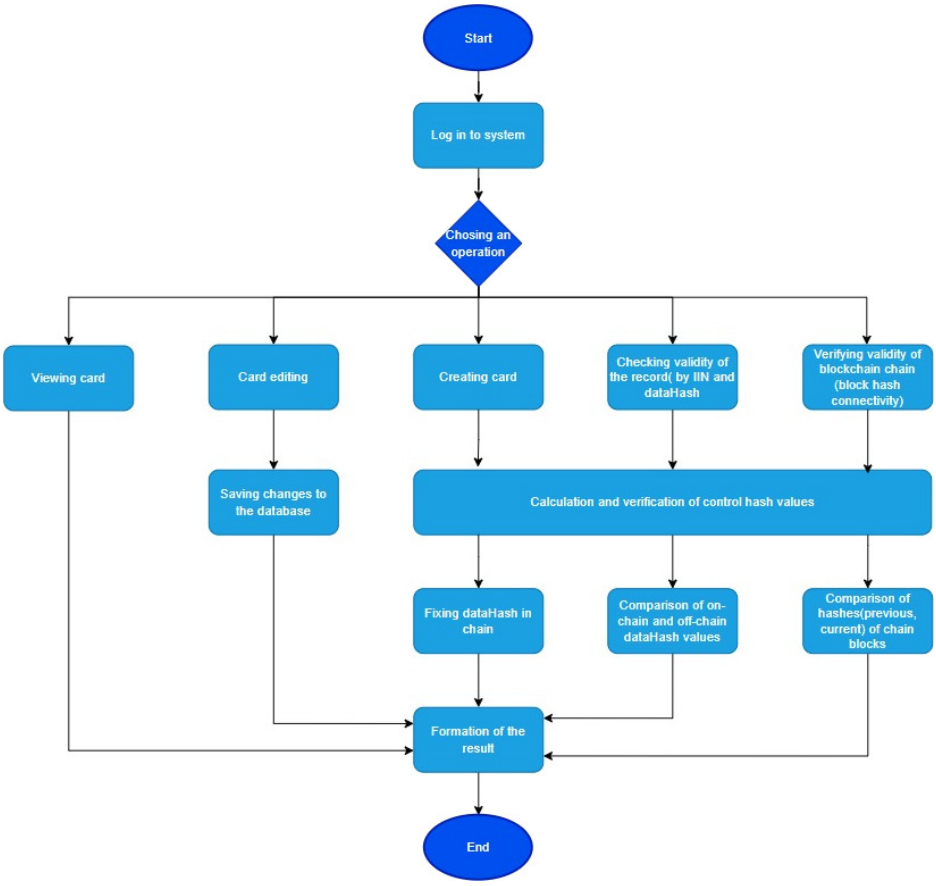


Fig.4 - Generalized flowchart of the program operation algorithm

In the implementation under consideration, the deployment outline includes a server application (NestJS/Node.js), MySQL database management system (users, employees, blockchain tables) and /public/uploads file storage for uploading files (photos and document). The key design decision is that metadata and control values are stored in the database, and the immutability of critical parameters is ensured by fixing the calculated dataHash in the blockchain journal.

At the application launch stage, the BlockchainService service loads the chain from the blockchain table, and in the absence of data, generates a genesis block. To ensure reproducibility of hash calculations during repeated launches, stable JSON serialization (key sorting) is used, which eliminates the dependence of the result on the internal order of fields in MySQL and allows validating the chain correctly after restarting the application.

The critical fields of the employee' s card are recorded once when creating an entry. documentHash is calculated as SHA-256 from the contents of the document file, then dataHash is formed as SHA-256 from the result of concatenation of iin and documentHash. The resulting value is stored in employees and simultaneously written to a new block of type EMPLOYEE_DATA (EmployeeID, dataHash, meta). During subsequent editing of the card, only non-critical fields can be changed, whereas the IIN and the document file are not overwritten and do not involve changing previously fixed blocks. The interface of the procedure for adding an employee and making changes is shown in Figure 5.

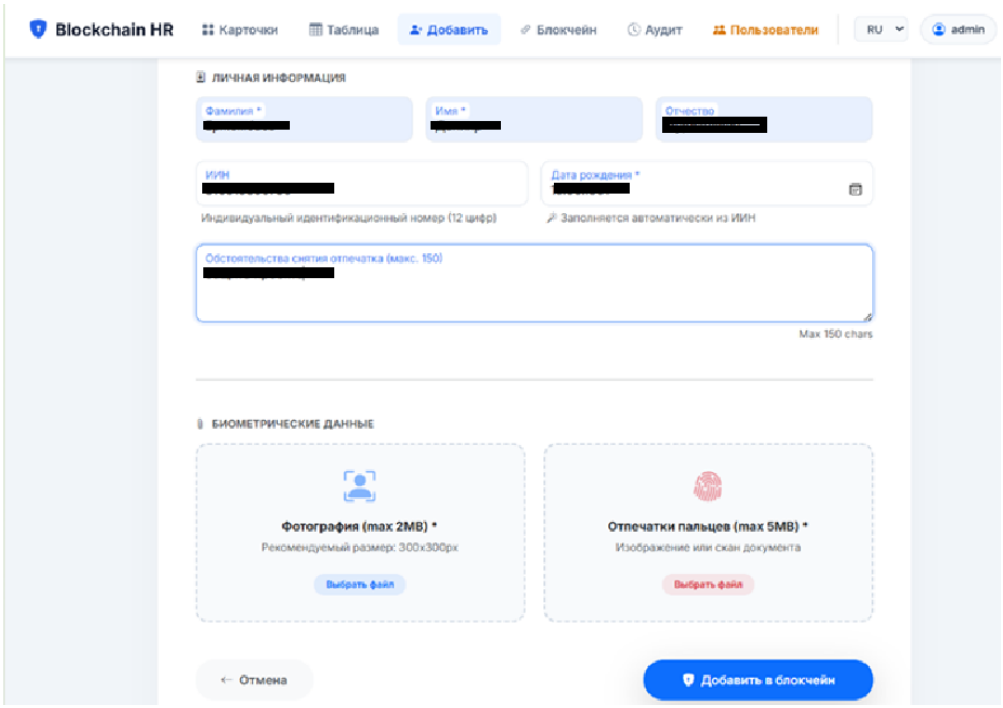


Fig.5 - Interfaces for adding a new card and making changes

A separate mechanism to reduce the risk of personal data compromise is IIN encryption when stored in the employees table. The value is encrypted in the EmployeesService using AES-256. All verification logic is performed at the application level after decryption, which allows you to maintain the verifiability of the dataHash and at the same time not store the IIN in the clear in the database.

The scientific novelty of the research lies in the development of a hybrid blockchain architecture for biometric personal data protection combining off-chain confidential storage and on-chain integrity verification mechanisms.

Conclusions. test the developed blockchain platform, it is proposed to determine its ability to implement the main tasks of the project described earlier. It is advisable to consider testing as a check of the achievability of the specified criteria at the level of system behavior.

The results of the verification of the blockchain platform against the project criteria are shown in Table 3.

Table 3 - Criteria for matching tasks

Expected property (task)	Implementation in the system	Engineering sign of completion
Delimiting access to operations	users (role, permissions) + AuthMiddleware: transfer rights to templates and route protection	an attempt to access /employees/create and /audit without rights results in a denial
One-time fixation of controlled data	createEmployee: calculation of documentHash and dataHash; writing dataHash to employees and the EMPLOYEE_DATA block	The dataHash benchmark is present simultaneously in employees.dataHash and blockchain.data.dataHash
Immutability of critical card attributes	editEmployee: the existing iin and documentHash are used; the dataHash is recalculated from unchanged values	after editing, only non-critical fields are changed. The dataHash and the corresponding block remain unchanged
Detecting document file substitution	verifyEmployee/verify-all: reading a file from /public/uploads and recalculating documentHash and dataHash	A discrepancy between computedHash and onChainHash or a discrepancy between documentHash is recorded as a violation
Detecting Block log tampering	isChainValid: recalculating the hash of each block and checking the previousHash	any change to data/previousHash/hash/nonce invalidates the chain
Auditing changes to non-critical fields	employees.modificationCount and updatedAt are updated each time the allowed attributes are edited	It is possible to establish the fact and number of modifications without changing the fixed control values

Unlike traditional centralized database systems, where administrators may potentially modify logs or records, blockchain-based architectures provide cryptographic immutability and transparent auditability of operations.

Table 4 - Comparison of traditional DBMS and blockchain-based architecture

Aspect	Traditional DBMS	Proposed platform
Hidden modification detection	Limited	Automatic
Log immutability	Low	High
Audit transparency	Partial	Full

Despite the advantages of the proposed architecture, several limitations remain, including dependence on trusted off-chain storage, blockchain growth over time, and computational overhead associated with cryptographic hashing.

Thus, the evaluation of the implementation shows that the declared functions of the project are provided by specific mechanisms:

- access to operations is regulated by the user’ s role and list of permissions;

- record integrity control relies on a calculated dataHash associated with the IIN and the contents

of the document file;

- immutability of the block log is ensured by hash/previousHash connectivity and hash recalculation verification;

- changing non-critical fields does not recalculate control values and does not change previously created blocks.

References

1. Egoshin, N.S.; Konev, A.A.; Shelupanov, A.A. Model of Threats to the Integrity and Availability of Information Processed in Cyberspace//Symmetry. - 2023.-Vol.15:431. DOI 10.3390/sym15020431.

2. Incident statistics. KZ-CERT (National Computer Incident Response Service of the Republic of Kazakhstan): URL: https://cert.gov.kz/press_club/infographics. -Date of access: 06.02.2026. [in Russian]

3. Swanzy P. N., Arnold M.A., Edward D. A.2024. Data Security Framework for Protecting Data in Transit and Data at Rest in the Cloud// Current Journal of Applied Science and Technology. - 2024.-Vol.43(6). - P.61-77. DOI 10.9734/cjast/2024/v43i64387.

4. The Law of the Republic of Kazakhstan. -2015. -No.418-V SAM ”On informatization” // Adilet: information and legal system of regulatory legal acts of the Republic of Kazakhstan. URL: https://adilet.zan.kz/eng/docs/Z1500000418. -Date of access: 06.02.2026.

5. Awan M., Alam A., Khan R.A. et al. A generative AI-driven cybersecurity framework for small and medium enterprises software development: an ANN-ISM approach. - Sci Rep.- 2026.- 16(1): 9813. DOI 10.1038/s41598-026-37614-8.

6. Kioskli K., Grigoriou E., Islam S., et al. A risk and conformity assessment framework to ensure security and resilience of healthcare systems and medical supply chain// International Journal of Information Security. -2025. -Vol.24: 90. DOI 10.1007/s10207-025-01009-z.

7. Abad-Segura E., Infante-Moro A., González-Zamar M-D., López-Meneses E. Blockchain Technology for Secure Accounting Management: Research Trends Analysis//Mathematics. -2021. -Vol.9(14):1631. DOI 10.3390/math9141631.

8. Nakamoto S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System// Cryptography Mailing list at https://metzdowd.com. -2009. URL: https://www.researchgate.net Date of access: 06.02.2026.

9. KSI blockchain in Estonia// e-Estonia. URL: https://e-estonia.com/solutions/cyber-security/ksi-blockchain/. -Date of access: 06.02.2026.

10. Alobid, M.; Abujudeh, S.; Szűcs, I. The Role of Blockchain in Revolutionizing the Agricultural Sector //Sustainability. – 2022. -Vol.14: 4313. DOI 10.3390/su14074313.

11. Zheng Z., Xie S., Dai H., Chen X., Wang H. An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends // 2017 IEEE International Congress on Big Data. -2017. -P.557–564. DOI 10.1109/BigDataCongress.2017.85.

12. The First in Central Asia: Narxoz will issue NFT diplomas. -2023. URL:https://vernycapital.com/en/the-first-in-central-asia-narxoz-will-issue-nft-diplomas/. -Date of access: 06.02.2026.

13. Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 (General Data Protection Regulation). URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj/eng. -Date of access: 06.02.2026.

14. Council of Europe, “Convention for the Protection of Individuals with Regard to Automatic Processing of Personal Data (Convention 108+),” Council of Europe Treaty Series (CETS No.223), 2018. URL: https:// grokipedia.com/page/convention_for_the_protection _of_individuals with_regard_to_automatic_processing_of_personal_data -Date of access: 06.02.2026.

15. Republic of Kazakhstan, “Law on Personal Data and Their Protection,” No.94-V, May 21, 2013. URL: https://adilet.zan.kz/eng/docs/Z1300000094. -Date of access: 06.02.2026.

16. The Law of the Republic of Kazakhstan ”On Informatization”. -2015. -No.418-V. URL: https://adilet.zan.kz/eng/docs/Z1500000418.-Date of access: 06.02.2026.

17. Government of the Republic of Kazakhstan, “Cyber Shield of Kazakhstan: Cybersecurity Concept,” 2020. URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/knb/activities/250?lang=en. -Date of access: 06.02.2026.

18. Government of the Republic of Kazakhstan, “Digital Kazakhstan State Program,” 2025. URL: https://www.kmge.kz/en/state_program_en/. -Date of access: 06.02.2026.

19. Delgado-Mohatar, O., Fierrez, J., Tolosana, R., Vera-Rodriguez, R. Blockchain and Biometrics: A First Look into Opportunities and Challenges. In: Prieto, J., Das, A., Ferretti, S., Pinto, A., Corchado, J. (eds) Blockchain and Applications. BLOCKCHAIN 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing.-2019.-Vol.1010.-P.169-177.DOI 10.1007/978-3-030-23813-1_21.

20. Ghafourian, M.; Sumer, B.; Vera-Rodriguez, R.; Fierrez, J.; Tolosana, R.; Moralez, A.; Kindt, E. Blockchain and Biometrics: Survey, GDPR Analysis, and Future Directions. arXiv 2025, arXiv:2302.10883 [cs.CV]. https://arxiv.org/abs/2302.10883.

Information about the authors

Tokzhigitova A.- PhD, Associate Professor, Toraighyrov university, Pavlodar, Kazakhstan, e-mail: tokzhigitova.an@teachers.tou.edu.kz;

Yerzhembayev D. - Master of Engineering and Technology, Toraighyrov university, Pavlodar, Kazakhstan, e-mail: yerzhembayev@gmail.com;

Zhumagulova S. - PhD, Associate Professor, Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: saulesha_81@mail.ru.

Сведения об авторах

Токжигитова А.Н.- PhD, ассоциированный профессор, Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан, e-mail: tokzhigitova.an@teachers.tou.edu.kz;

Ержембаев Д.Н. магистр техники и технологии, Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан, e-mail: yerzhembayev@gmail.com;

Жумагулова С.К.- PhD, ассоциированный профессор, Карагандинский Национальный Исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан, e-mail: saulesha_81@mail.ru

МРНТИ 50.47.29; 52.47.15 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1492**

МҰНАЙ ӨҢДЕУ ЗАУЫТЫНДА ӨНДІРІС ПРОЦЕСІН БАСҚАРУДЫ АВТОМАТТАНДЫРУ

Ж.К. Абдугулова, Н.Н. Сейт✉, Д.С. Жамангарин, А.А. Танирбергенова

Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

✉ *Корреспондент-автор: nurgulnurmash@gmail.com*

Бұл мақалада шикі мұнайды алғашқы өңдеу сатылары, оның ішінде механикалық және физика-химиялық бөлу үдерістері егжей-тегжейлі талданады. Үшфазалы вертикалды сепаратор-бұл процестің негізгі түйіндерінің бірі таңдалады. Бұл құрылғы мұнай құрамынан суды және ілеспе газдарды ажыратуға бағытталған және нәтижесінде өңдеудің келесі сатылары үшін мұнайдың сапасы мен тұрақтылығы қамтамасыз ететініне көз жеткіземіз. Мұнай зауытындағы үшфазалы мұнайды тазалау процесі зерттеледі, оның ішінде вертикалды сепараторлардың құрылымдық және функционалдық ерекшеліктері сипатталады.Үшфазалы сепаратордың математикалық моделін құрастырылады және MATLAB/Simulink платформасында автоматтандырылған басқару жүйесі модельденеді.

Басқару жүйесінің өтпелі процестерін талдау және классикалық ПИД-регулятордың әлсіз жақтары анықталады. Интеллектуалды басқару әдісін енгізу арқылы, PSO алгоритмі арқылы оңтайландырылған ПИД-регулятор синтезделеді. Әртүрлі басқару нұсқаларын салыстыру арқылы тиімді басқару стратегиясын таңдау және жүйенің жауап беру сапасын жақсарту қарастырылады.

Түйін сөздер: мұнай, ПИД-регулятор, үшфазалы вертикалды сепаратор, интеллектуалды басқару, өтпелі процестер, Smart-технологиялар, ройлық интеллект,модельдер.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРОЦЕССОМ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕМ ЗАВОДЕ

Ж.К. Абдугулова, Н.Н. Сейт✉, Д.С. Жамангарин, А.А. Танирбергенова

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
e-mail: nurgulnurmash@gmail.com

В данной статье подробно анализируются этапы первичной переработки сырой нефти, включая механические и физико-химические процессы разделения. В качестве одного из ключевых узлов данного процесса выбран трехфазный вертикальный сепаратор. Данное устройство предназначено для отделения воды и попутных газов из состава нефти, что в результате обеспечивает качество и стабильность нефти для последующих стадий переработки. Исследуется процесс трехфазной очистки нефти на нефтеперерабатывающем заводе, включая описание конструктивных и функциональных особенностей вертикальных сепараторов. Разрабатывается математическая модель трехфазного сепаратора и моделируется автоматизированная система управления на платформе MATLAB/Simulink.

Проводится анализ переходных процессов системы управления и выявляются недостатки классического ПИД-регулятора. Путем внедрения интеллектуального метода управления синтезируется ПИД-регулятор, оптимизированный с использованием алгоритма PSO. На основе сравнения различных вариантов управления выбирается эффективная стратегия управления и рассматриваются способы повышения качества отклика системы.

Ключевые слова: нефть, ПИД-регулятор, трехфазный вертикальный сепаратор, интеллектуальное управление, переходные процессы, Smart-технологии, роевой интеллект, модели.

AUTOMATION OF PRODUCTION PROCESS CONTROL AT AN OIL REFINERY

Zh.K. Abdugulova, N.N. Seit✉, D.S. Zhamangarin, A.A. Tanirbergenova

L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
e-mail: nurgulnurmash@gmail.com

This article provides a detailed analysis of the primary stages of crude oil processing, including mechanical and physico-chemical separation processes. A three-phase vertical separator is selected as one of the key units of this process. This device is designed to separate water and associated gases from crude oil, thereby ensuring the quality and stability of oil for subsequent processing stages. The three-phase oil treatment process at an oil refinery is investigated, including the structural and functional features of vertical separators. A mathematical model of the three-phase separator is developed, and an automated control system is modeled using the MATLAB/Simulink platform.

The transient responses of the control system are analyzed, and the weaknesses of the classical PID controller are identified. By implementing an intelligent control approach, a PID controller optimized using the PSO algorithm is synthesized. By comparing different control strategies, an effective control approach is selected, and improvements in system response quality are discussed.

Keywords: oil, PID controller, three-phase vertical separator, intelligent control, transient processes, smart technologies, swarm intelligence, models.

Кіріспе. Мұнайды тиімді өңдеу және одан алынатын өнімнің сапасын арттыру – тек химиялық-технологиялық жағынан ғана емес, сонымен қатар заманауи автоматтандыру жүйелерін енгізумен тікелей байланысты [1]. Бұл интеллектуалды алгоритмдер мен Smart-технологияларға негізделген әдістер, соның ішінде бөлшектер ройы (PSO-Particle Swarm Optimization) секілді оңтайландыру алгоритмдері кеңінен қолданыла бастады [2]. Мұнай өңдеу процестерінде айтарлықтай күрделі объектілердің бірі-үш фазалы сепараторлар болып табылады [3]. Олар мұнайды газдан және судан тиімді түрде бөлуге арналған және олардың жұмысын тұрақты ұстап тұру үшін басқару жүйелерінің сапасы өте жоғары болуы тиіс. Үшфазалы сепаратордың ішіндегі температура, қысым, деңгей және шығын секілді параметрлер нақты уақыт режимінде өлшеніп, соған сәйкес басқару әрекеті орындалуы қажет. Қазіргі таңда өндіріс орындарында қолданылып жүрген ПИД-регуляторлардың дәстүрлі баптау әдістері динамикасы күрделі жүйелерде жеткіліксіз нәтиже беріп отыр [4,5]. Осыған байланысты интеллектуалды әдістерге негізделген ПИД-регуляторларды оңтайландыру қажеттігі туындайды.

Мұнай өңдеу зауытында үшфазалы сепаратор жұмысын модельдеу негізінде интеллектуалды ПИД-регуляторды оңтайландыру және енгізу арқылы автоматтандыру жүйесінің тиімділігін арттыру. Автоматтандырылған басқару жүйесіндегі интеллектуалды ПИД-регулятордың математикалық моделін құрастыру және оны бағалау әдістемесі көзделеді. Мақалада келесі міндеттерді қарастырылады:

- үшфазалы сепаратордың математикалық моделін құрастыру және MATLAB/Simulink ортасында басқару жүйесін модельдеу;

- басқару жүйесінің өтпелі процестерін талдау және классикалық ПИД-регулятордың әлсіз жақтарын анықтау;

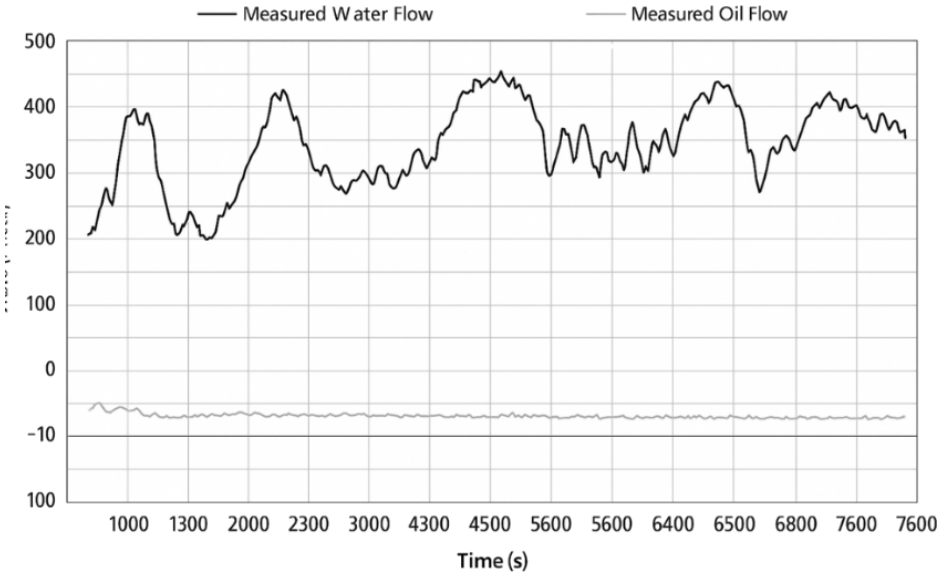
- интеллектуалды басқару әдісін енгізу: бөлшектер ройы алгоритмі (PSO) арқылы ПИД-регулятор параметрлерін оңтайландыру;

- модельдеу нәтижелерін салыстыру арқылы жүйе тұрақтылығын, дәлдігін және тиімділігін арттыру жолдарын қарастыру .

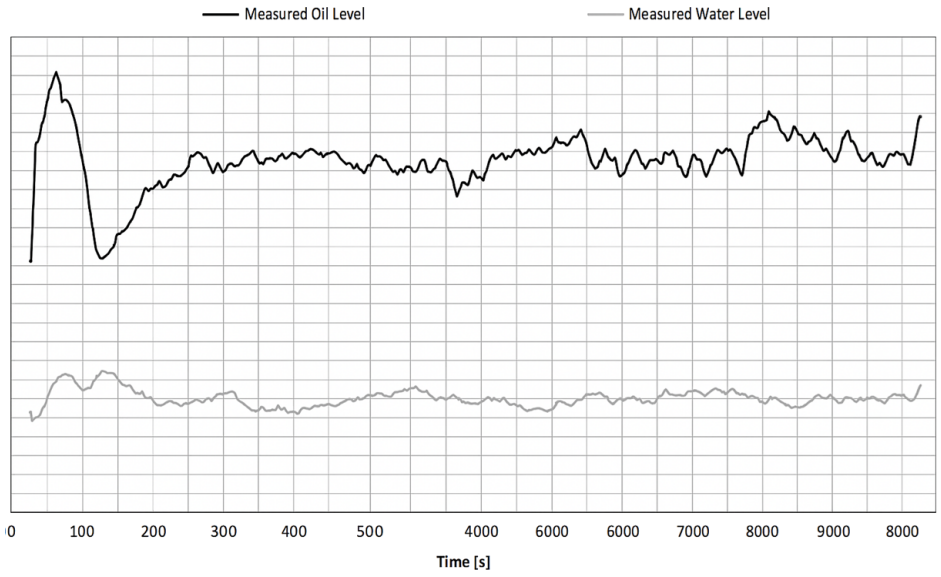
Мұнай кешенінде қолданылатын үшфазалы сепаратордағы су деңгейін басқару жүйесін егжей-тегжейлі талдай отырып, осы процестің негізінде нақты басқару контуры құрылғанын байқауға болады. Бұл көрсеткіш жүйенің кіріс су көлемін бағалау үшін және болашақта жаңа басқару алгоритмдерін тексеру және симуляциялық модельдеу кезінде маңызды ақпарат көзі бола алады. Ағынды өлшеу нәтижелері басқару жүйесінің тиімділігін арттыруға, сондай-ақ сепараторға түсетін су көлемі мен одан шығарыла-

тын судың мөлшерін салыстыру арқылы балансты талдауға мүмкіндік береді [6,7].

Материалдардар мен әдістер. Мұнай айдау станциясының сенімді және үздіксіз жұмысын қамтамасыз ететін маңызды инженерлік кешендердің бірі-майлау және ағып кету жүйелері, сондай-ақ қысымдық толқындардан қорғау тетіктері [8]. Бұл жүйелер орталықтан тепкіш насос қондырғыларының ұзақ мерзімді және қауіпсіз эксплуатациясына бағытталған. Гидродинамикалық модельдеу және басқару алгоритмдерін оңтайландыру үшін, мұнай кен орнында орнатылған үшфазалы сепараторда жүргізілген сынақтар нәтижесінде алынған кейбір пайдалану деректері 1-суретте келтірілген. Бұл диаграммада мұнай мен судың ағу жылдамдығы уақыт бойынша көрсетілген. Анализ нәтижесінде, әсіресе су ағынының жылдамдығында айқын тербелістер байқалады, бұл процестің тұрақтылығы мен жүйенің сезімталдығына әсер етеді [9].



1-сурет. Мұнай және судың ағу жылдамдығының уақыт бойынша өзгеруі



2-сурет. Су және мұнай деңгейлерінің уақыт бойынша өзгерісі

Осы график негізінде су деңгейінің тербелісі ағу жылдамдығындағы өзгеріске қарағанда әлдеқайда төмен пайызда өзгеретіні анық көрінеді. Бұл жағдай әсіресе алғашқы 1000 секундтан кейін айқын байқалады. Су деңгейі салыстырмалы түрде тұрақты болса да, оның ағу жылдамдығы айтарлықтай ауытқып тұрған. Мұндай өзгерістерге айдау қысымының тұрақсыздығы, кіріс фазалардың мөлшерлік қатынасының күрт өзгеруі, басқару клапандарының дұрыс жұмыс істемеуі, автоматтандырылған деңгей реттегіштің дәлсіздігі себеп болады. Бұл анализ сепаратор жұмысының нақты уақыттық мониторингі және бақылау алгоритмдерін оңтайландыру қажеттілігін көрсетеді.

Бұл график сепаратор ішіндегі нақты қабаттық сұйықтық деңгейін өлшейтін LIT деңгей датчиктерінің тіркелген көрсеткіштерін көрсетеді (сурет 2). Уақыт аралығындағы салыстырмалы деңгейлер сепаратордағы қабаттасқан фазалардың динамикасын, яғни су/мұнай шекарасының нақты өзгерісін сипаттайды. Деректер бойынша, су деңгейіндегі тербелістер 0,5-1% шегінде ауытқып отырған, бұл оның өте сезімтал басқару жүйесі арқылы реттеліп отырғанын көрсетеді [10]. Мұнай кен орнында қолданылатын үшфазалы сепаратордың ішіндегі су көлемібұл сепаратор геометриясына тікелей байланысты айнымалы шама. Атап айтқанда, су көлемі h(t)-сепаратор ішіндегі су деңгейінің функциясы ретінде келесі өрнекпен сипатталады. Мұнайдағы су көлемінің толық геометриялық формуласы:

$$V(h) = (r^2 \cos^{-1}\left(\frac{r-h}{r}\right) - (r-h)\sqrt{2rh-h^2})L \quad (1)$$

мұндағы:

$V(h)$–су көлемі, h – су деңгейі, r – сепаратордың көлденең қимасының радиусы, L – сепаратор ішіндегі су қабатының ұзындығы. Сепаратор қалыпты жұмыс режимінде жұмыс істеп тұрған кезде, су деңгейі төменгі дабыл деңгейі (LAL) мен жоғарғы дабыл деңгейі (LAH) аралығында болады. Осы себепті, жоғарыдағы күрделі теңдеуді желілік аппроксимация арқылы жеңілдетуге болады: Желілік аппроксимацияланған формула:

$$V(h) = A * h(t), \quad A = \pi r^2 \quad (2)$$

яғни, сепаратордағы су көлемі мен деңгейінің арасындағы байланыс сызықты деп есептеледі.

Су көлемінің уақыт бойынша өзгерісі массаның сақталу заңына негізделеді. Дифференциалдық теңдеу: f

$$\frac{dV(t)}{dt} = A * \frac{dh(t)}{dt} = Q_i(t) - Q_{out}(t) \quad (3)$$

мұндағы:

$Q_i(t)$ - кіріс су ағынының жылдамдығы,

$Q_{out}(t)$ - шығыс су ағынының жылдамдығы.

Осы теңдеу сепаратор ішіндегі су деңгейінің өзгерісі ағын жылдамдықтарының айырмасына тікелей байланысты екенін көрсетеді. Клапан арқылы шығыс ағынын модельдеу. Шығыс су ағымы LCV-340018 клапаны арқылы реттеледі [11]. Бұл процесті ағын динамикасы тұрғысынан келесі түрде сипаттауға болады. Клапан арқылы ағынның формуласы:

$$Q_{out}(t) = c_v * f(u) * \sqrt{\frac{\Delta P_{out}(t)}{\rho_w}} \quad (4)$$

Бұл арнайы LCV-340018 клапаны сызықты сипаттамаға ие, сондықтан:

$$f(u) = u * U_{\max} \quad (5)$$

мұндағы $U_{\max}$ – клапанның максималды ашылу ауданы.

Қысым айырмашылығын есептеу. Шығарылатын клапанның екі жағындағы қысым айырмашылығы келесі түрде бағаланады. Қысым айырмашылығы формуласы:

$$\Delta P_{out}(t) = P_g(t) + \rho_0 g h_0(t) + \rho_w g h(t) - P_w(t) \quad (6)$$

мұндағы:

$P_g(t)$ – сепаратор ішіндегі газ қысымы, ρ_0, ρ_w-мұнай мен судың тығыздығы, $h_0(t)$, $h(t)$-мұнай

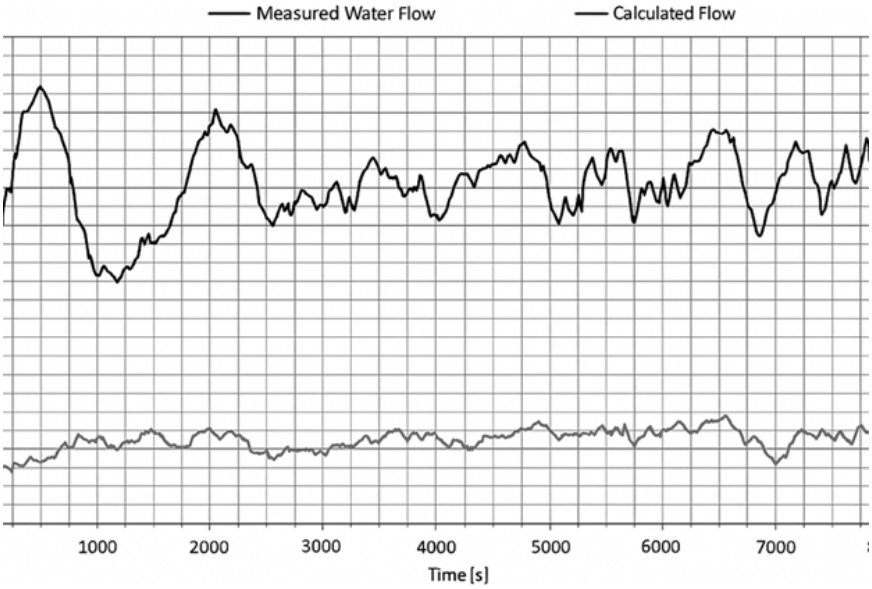
және су деңгейі, $P_w(t)$-клапаннан кейінгі қысым (төменгі ағын).

Клапанның C_v коэффициентін анықтау үшін эксперименттік өлшеу деректері пайдаланылады [11]. Бұл өлшеулерге: су және мұнай деңгейлері, сепаратор ішіндегі газ қысымы, клапанның ашылу пайызы, судың нақты ағыны кіреді.

Коэффициентті табу үшін наименьших квадраттар әдісі (least squares) қолданылады [12]. Міндет-есептелген Q_{out} пен нақты өлшенген ағын арасындағы ауытқуды азайту:

$$\min \sum_i Q_{out}(i) - C_v * u(i) * U_{\max} \sqrt{\frac{\Delta P_{out}(i)}{\rho_w}} \quad (7)$$

Құрылған модель 3-суретте тексерілді. Жалпы, болжау қатесі 10%-дан аспайды, бұл оның өндірістік қолданысқа жарамды екенін дәлелдейді. Сонымен қатар, сепаратордың қалыпты жұмыс режимінде мынадай қарапайымдылық енгізіледі: $P_g(t)$, $P_w(t)$, $h_0(t)$ мәндері тұрақты немесе баяу өзгеретін деп есептеледі. Төмендегі сурет 16-да модель валидациясы көрсетілген



3-сурет. Модель валидациясы

Мұндай жағдайда теңдеулер сызықтандырылып, жүйе жай дифференциалдық және алгебралық теңдеулер жүйесіне айналады. Бұл PI немесе PID-регуляторларды жобалау кезінде оңай есептелетін модель түрі болып табылады [12]. Сепаратордағы су деңгейін басқару және ағымның динамикасын бағалау үшін ұсынылған математикалық модель: нақты геометриялық құрылымға, масса балансына, клапан динамикасына және қысым айырмашылығына негізделеді. Келесі қадам ретінде бұл модель негізінде Simulink , MATLAB ортасында толық имитациялық модель құру ұсынылады. Мұнай кен орнындағы үшфазалы сепаратордың математикалық үлгісі нақты жағдайларда тиімді түрде сипатталуы үшін оның сызықтандырылған нұсқасы қарастырылады. Бұл процессте газ қысымы, клапанның төменгі жағындағы су қысымы және мұнай деңгейі тұрақты шама ретінде немесе олардың орташа мәндерден ауытқуы еленбейтіндей аз деп қабылданады. Осындай қабылдаулар негізінде бастапқы күрделі, бейсызық модель қалыпты жұмыс режимінде келесі түрде жеңілдетіледі [12-15].

Линеаризацияланған дифференциалдық теңдеу:

$$47,56 * \frac{d\Delta h(t)}{dt} = Q(t) - 1.812 * d\Delta h(t) - 10.8 d\Delta u(t) \quad (8)$$

Мұндағы: $\Delta h(t)$−су деңгейінің теңгерімді күйден ауытқуы, $\Delta u(t)$−клапанның ашылу пайызы-

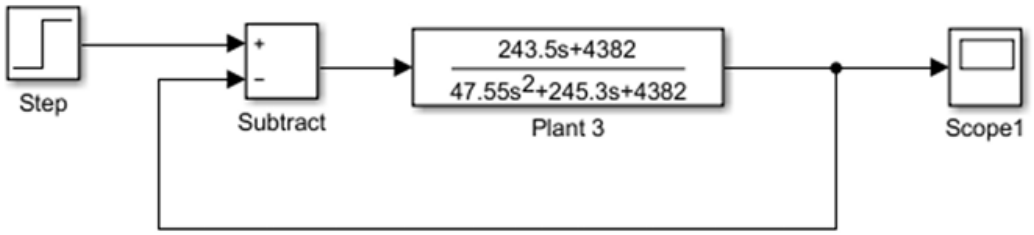
ның теңгерімді мәнінен ауытқуы, $Q(t)$–жүйеге түсетін судың белгісіз бұзушы әрекеті.

Бұл теңдеу су деңгейінің өзгерісі басқару сигналы мен ағын жылдамдығының өзгерісіне қалай тәуелді екенін көрсетеді. Жүйенің беріліс функциясы. Линеаризацияланған модель негізінде жүйенің беріліс функциясы $G(s)$ яғни Лаплас түрлендірмесімен сипатталған, келесі түрде болады:

$$G(s) = \frac{244.5s - 4382.1}{47.56s^2 + 245s + 4382.1} \qquad (9)$$

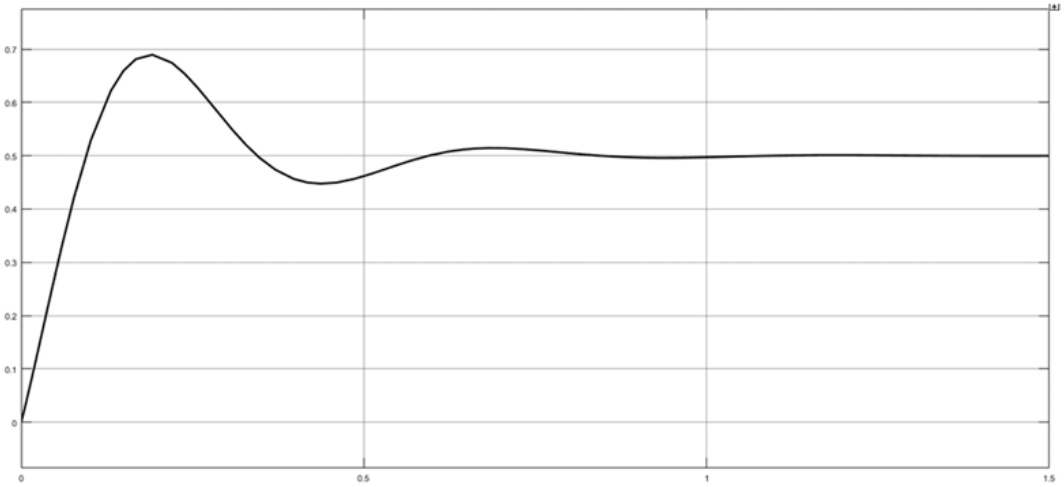
Бұл екінші ретті динамикалық жүйе болып табылады, мұнда: Сан алымында: жүйенің ескерілмейтін немесе ішкі бұзушы факторларға реакциясы сипатталған, жүйенің инерциялық қасиеттері, уақыттық жауап беру қабілеті, тұрақтылығы бейнеленеді.

Модельдің практикалық тексерісін жүргізу мақсатында, жоғарыда келтірілген беріліс функциясы MATLAB Simulink бағдарламалық ортасында құрылымдық блок-схема түрінде жүзеге асырылды. Төмендегі сурет 4-ші модельдің структуралық схемасы көрсетілген



4-сурет. Модельдің структуралық схемасы

Модельдің структуралық схемасы келесі негізгі блоктардан тұрады: Transfer Function (G(s))-жүйенің математикалық сипаттамасын орындайды; Step Input-бастапқы бірлік функциясы; Scope-жүйенің уақыт бойынша реакциясын визуализациялайды. Жабық контурлы автоматты басқару жүйесінің Simulink моделінің құрылымдық схемасы көрсетілген. Бұл схема линеаризацияланған сепаратор моделіне негізделіп жасалған және жүйенің динамикалық сипаттамаларын зерттеуге бағытталған. Соңғы маңызды элемент -кері байланыс контуры. ”Scope1”-ден шыққан сигнал қайтадан ”Subtract” блогына түседі, бұл жүйенің жабық контурлы (feedback control) екенін білдіреді.5- суретте Модельдеу нәтижелері ұсынылған.



5-сурет. Модельдеу нәтижелері

Бұл графикте жүйенің уақыт бойынша реакциясы (step response) көрсетілген. Қорытынды төмендегідей: Жүйе тұрақты-яғни, уақыт өте келе тепе-теңдік күйге ұмтылады;

қалаған мәнге толығымен жетпейді, бұл статикалық қателіктің болуын көрсетеді; Сонымен қатар, бастапқыда басқару сигналы мәнінен асып кету-байқалады. Жүйенің динамикасын жақсарту және тұрақты күйге жылдамырақ жету, қателер мен перерегулирование көлемін азайту үшін типтік PID немесе PI регуляторын синтездеу қажет. Бұл реттегіштер: жауап беру уақытын, қателік көлемін, тұрақтылық маржасын оптималды түрде реттеуге мүмкіндік береді.

Келесі кезеңде PID-регуляторды жобалау және оны Simulink моделіне қосып, динамикалық сипаттамаларды жақсарту ұсынылады. Жүйенің тұрақтылық қасиеттерін, жиілікке қатысты реакциясын және басқару сапасын бағалау үшін ашық жүйенің амплитудно-фазалық сипаттамасын (АФЧХ) құру қажет. Бұл процедура жүйенің беріліс функциясына негізделеді және кешенді жиілік айнымалысы енгізіледі.

1-қадам: Ашық жүйенің беріліс функциясы. Зерттелетін жүйенің ашық контурдағы (разомкнутый контур) беріліс функциясы келесідей болады:

$$T(s) = \frac{243.51s + 4382.2}{47.56s^2 + 490.61s + 8764.5} \tag{10}$$

2-қадам: Оператор s-ті жиіліктік айнымалыға ауыстыру (s = jω) АФЧХ құру үшін Лаплас операторы s орнына комплекстік жиілік айнымалысы jω қойылады:

$$T(jw) - \frac{243.51jw + 4382.2}{j^2 * 47.56w^2 + j * 490.61w + 8764.5} \tag{11}$$

Бірнеше түрлендіруден кейін мынандай көрініс алады:

$$T(jw) = \frac{-11579jw^3 - 88903.1w^2 - 157753wj + 38403849}{76807697 - 592768.045w^2 + 2261.0026w^4} \tag{12}$$

3-қадам: Действительная және мнимая бөлікке бөлу. Комплекстік бөлшекті нақты (Re) және жорамал (Im) бөліктерге бөлінеді:

$$T(jw) = Re(w) + j * Im(w) \tag{13}$$

Мұндағы:

- Нақты бөлік:

$$Re(w) = \frac{-88903.1w^2 + 38403849}{76807697 - 592768.05w^2 + 2261.026w^4} \tag{14}$$

Жорамал бөлік:

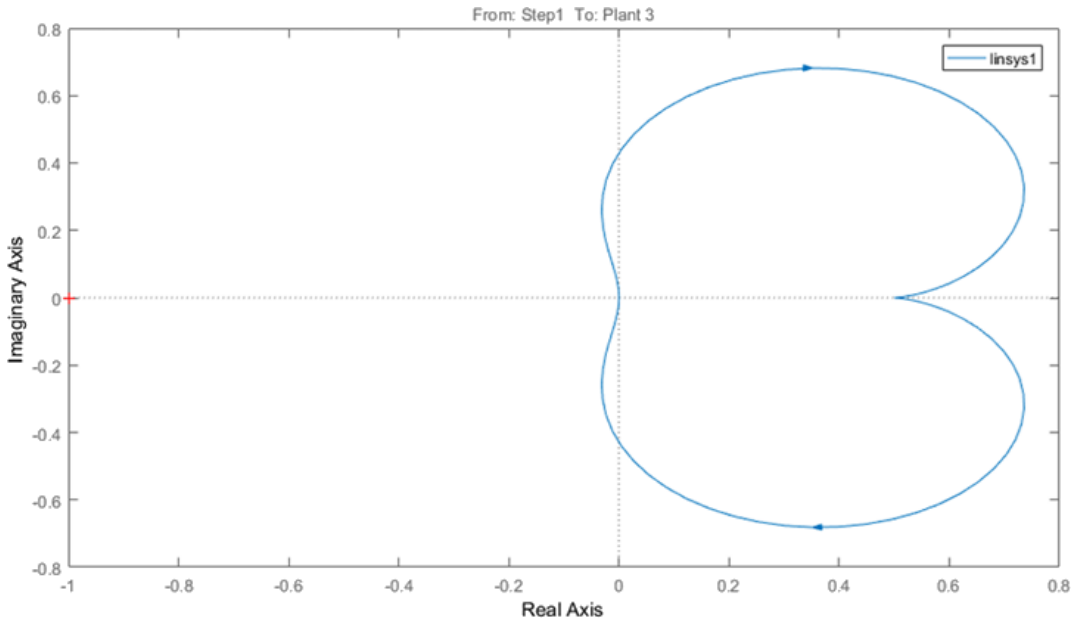
$$Im(w) = -\frac{11578.426w^3 + 157753w}{76807969.4 - 592768.05w^2 + 2261.0026w^4} \tag{15}$$

4-қадам: Әртүрлі жиіліктер үшін есептеу. АФЧХ тұрғызу үшін түрлі жиілік мәндеріне сәйкес нақты және жорамал бөліктер есептеледі. Ол нәтижелер төмендегі кесте 1-те келтірілген

5-қадам: АФЧХ тұрғызу. Осы кестелік мәліметтер негізінде жүйенің амплитудно-фазалық сипаттамасы тұрғызылады. Бұл график жиіліктің өзгеруіне байланысты жүйе шығысының қалай өзгеретінін көрсетеді. Төмендегі сурет 6-да АФЧХ графигі көрсетілген

1-кесте. Нақты бөлік және жорамал мәндердің w бойынша мәндері

ω (рад/с)	Re(ω)	Im(ω)
0	15	0
5	0.5	0.321
10	0.57	∞
15	0.735	-0.0239
∞	0	-0.296



6-сурет. АФЧХ графигі

Жорамал ось бойынша $Im(w)$, нақты ось бойынша $Re(w)$ мәндері белгіленеді. Нәтижесінде комплекстік жазықтықтағы қисық алынады-бұл Николс немесе Найквист диаграммасы ретінде танымал. Ол жүйенің тұрақтылығын, резонанстық қасиеттерін және басқаруға бейімділігін бағалау үшін қолданылады. Берілген әдіс-жүйені жиіліктік аймақта анализдеу тәсілдерінің бірі. АФЧХ негізінде жүйе: тұрақты ма, әлде тұрақсыз ба, жиілік бойынша күшеюі немесе бәсеңдеуі, фазалық жылжуы қанша екенін білуге мүмкіндік береді. Келесі кезеңде регулятордың әсерін енгізу арқылы жабық жүйенің АФЧХ-сы тұрғызылады.

Амплитудалық-жиілік сипаттамасы (АЖС) және фаза-жиілік сипаттамасы (ФЖС) жүйенің жиіліктік динамикасын зерттеу үшін қолданылады. Бұл сипаттамалар жүйенің жиіліктік сигналдарға қалай жауап беретінін, күшейту/бәсеңдету дәрежесін және фазалық ығысуын көрсетеді. АЖС келесі формула арқылы анықталады:

$$A(w) = \sqrt{Re^2(w) + Im^2(w)} \qquad (16)$$

Мұнда $Re(w)$ және $Im(w)$ – жиілік w үшін берілген жүйенің нақты және жорамал бөліктері. Бұл формула бойынша әр w мәніне сәйкес амплитудалық реакция есептеліп, 2-кестеге енгізіледі.

Бұл кесте 1-дегі мәндерге сүйене отырып, амплитудалық-жиілік сипаттамасының графигі тұрғызылады. График горизонталь осьте-w

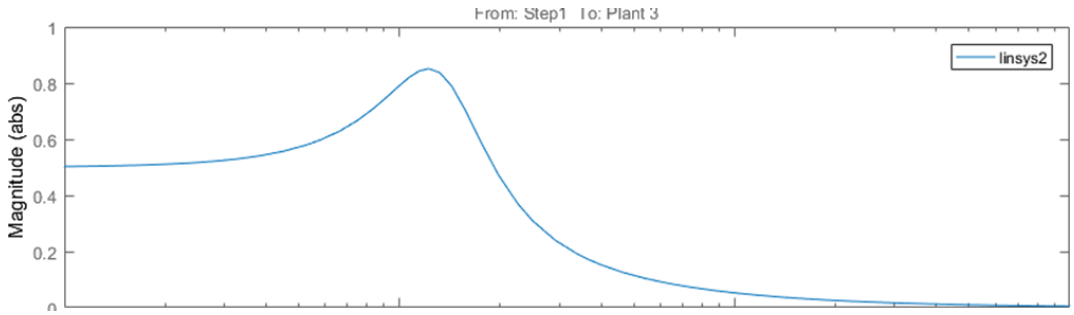
(жоғарыға логарифмдік масштабта), вертикаль осьте-A(ω) мәндері бейнеленеді. Сурет 7-де амплитудалық-жиілік сипаттамасының графигі көрсетілген.

2-кесте. Ашық жүйенің АЖС мәндері

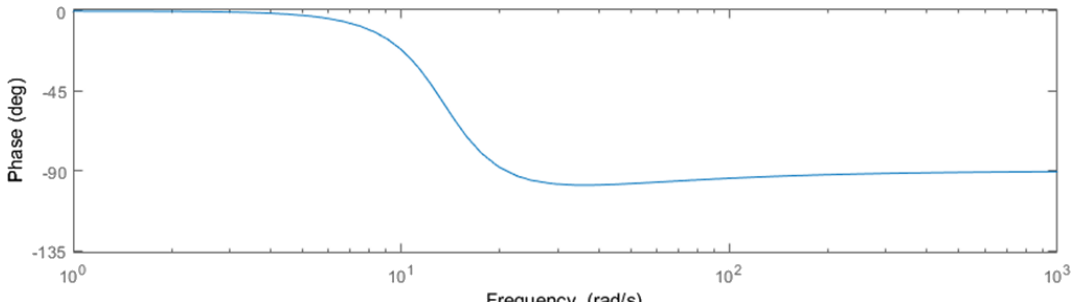
ω (рад/с)	A(ω)
0	∞
10	∞
100	0.794
∞	0.05
–	0

3-кесте. Ашық жүйенің фазалық сипаттамасы

ω (рад/с)	$\sigma(\omega)$,°
0	0
1	-0.0447
10	-24.1
100	-94.2
1000	-90
∞	-90



7-сурет. Амплитудалық-жиілік сипаттамасының графигі



8-сурет. Фазалық-жиілік сипаттамасының графигі

Фаза-жиілік сипаттаманы (ФЖС) есептеу:

$$\varphi(\omega) = arctan(\frac{Im(\omega)}{Re(\omega)}) \qquad (17)$$

Бұл формула фазалық ығысу бұрышын көрсетеді, яғни жүйе кіріс және шығыс сигналдарының арасындағы уақытша ығысу (φ) жиілікке байланысты қалай өзгеретінін анықтайды (кесте 3).

Жоғарыда келтірілген деректер негізінде фаза-жиілік сипаттамасының графигі тұрғызылады. Бұл графикте фазаның ω жиілігіне байланысты градус түрінде өзгерісі көрсетіледі. Бұл сипаттама жүйенің уақытша жауап беру жылдамдығын

және резонанстық қасиеттерін бағалауға мүмкіндік береді. Жүйе жоғары жиіліктерде (ω → ∞) әлсіз жауап береді (A → 0.05), бұл оның фильтрлік қасиетке ие екенін көрсетеді. Сонымен қатар, фаза -90°-қа жуықтайды, бұл-классикалық инерциялық сипатқа сай. Төмендегі сурет 8-де фазалық-жиілік сипаттамасының графигі көрсетілген.

Жиіліктік сипаттамаларды логарифмдік түрде көрсету жүйе динамикасын Боде диаграммасы арқылы талдауға мүмкіндік береді. Бұл әдіс инженерлік практикада басқару жүйелерін жобалау кезінде жиі қолданылады.

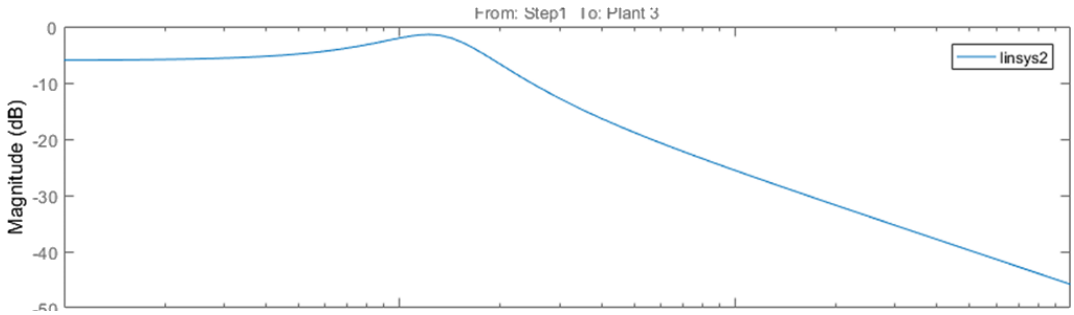
1. Логарифмдік амплитудалық-жиілік сипаттаманы (ЛАЖС) есептеу. АЖС мәндерін логарифмдік масштабқа ауыстыру үшін келесі формула қолданылады:

$$L(\omega) = 20 \cdot \log_{10} A(\omega) \qquad (18)$$

Мұндағы: $L(\omega)$ – жиілік ω үшін логарифмдік амплитудалық жауап, децибелмен (dB) өлшенеді,

$A(\omega)$ – ω жиілігіне сәйкес алынған амплитуда мәні.

Төмендегі сурет 9-да ашық жүйе ЛАЧХ мен мәндері кесте 4-де көрсетілген .



9-сурет. Ашық жүйе ЛАЧХ

4-кесте.Ашық жүйенің ЛАЖС мәндері

ω (рад/с)	L(ω), дБ
0	0
1	-5.97
10	-2.01
100	-25.6
1000	-45

Жүйенің тұрақтылығын Ляпуновтың бірінші әдісімен зерттеу. Жабық жүйенің беріліс функциясы төмендегідей түрде беріледі:

$$G(s) = \frac{244.5s - 4382.1}{47.56s^2 + 245s + 4382.1} \qquad (19)$$

$$47.56s^2 + 245s + 4382.1 = 0 \qquad (20)$$

$$s_1 = -2.5822 + 9.2516j \quad s_2 = -2.582 - 9.2516j \qquad (21)$$

Ляпуновтың бірінші теоремасына сәйкес тұйық жүйенің орнықтылығы, автоматтандырылған басқару жүйелерінің тұрақтылығын бағалау кезінде жиі қолданылатын әдістердің бірі болып табылады. Бұл теоремаға сәйкес, егер

жүйенің сипаттамалық теңдеуінің барлық түбірлерінің нақты бөліктері теріс болса, онда жүйе асимптоталық түрде орнықты болып есептеледі. Жүйенің күйі тұрақты мәнге жақындайды, бұл автоматтандырылған басқару жүйесі үшін қажетті талаптардың бірі болып саналады. Жүйе динамикасын сипаттайтын дифференциалдық теңдеулер негізінде сипаттамалық теңдеу алынады, ал оның түбірлері арқылы орнықтылық талданады. Жүйенің алгебралық модельдері мен беріліс функциясы. Жүйенің динамикалық сипаттамаларын зерттеу үшін оның беріліс функциясы пайдаланылады. Бұл функция Лаплас түрлендіруін қолдану арқылы алынады және жүйенің кіріс пен шығыс сигналдарының қатынасын сипаттайды.

$$T(s) = \frac{244.5s + 4382.1}{47.56s^2 + 490.7s + 8765} \qquad (22)$$

Ляпуновтың бірінші теоремасына сәйкес, басқару жүйесінің орнықтылығын анықтау үшін сипаттамалық теңдеудің түбірлерін талдау жеткілікті. Егер сипаттамалық теңдеудің барлық түбірлерінің нақты бөліктері теріс мәнге ие болса, онда жүйе асимптоталық түрде орнықты деп танылады. Мұнай өңдеу зауытындағы ашық басқару жүйесі де орнықты болып есептеледі, себебі оның сипаттамалық теңдеуінің түбірлері теріс нақты бөліктерге ие.

Гурвиц тұрақтылық критерийі бойынша талдау. Жүйенің орнықтылығын тексерудің тағы бір тиімді әдісі-Гурвиц критерийі. Бұл әдіс сипаттамалық теңдеудің коэффициенттері арқылы жүйенің орнықтылығын бағалауға мүмкіндік береді. Гурвиц критерийіне сәйкес, жүйенің барлық нөлден өзгеше сипаттамалық коэффициенттері белгілі бір детерминанттар жүйесі арқылы тексеріледі.

$$a_0 = 47.56 \quad a_1 = 490.7 \quad a_2 = 8765$$

Гурвиц тұрақтылық критерийі бойынша:

$$\begin{vmatrix} 490.7 & 0 \\ 47.56 & 8764 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_1 = 490.6 \Delta_2 = 4298743$$

Гурвиц орнықтылық критерийіне сәйкес, жүйе орнықты деп танылады, егер оның сипаттамалық теңдеуінің Гурвиц матрицасына сәйкес есептелетін барлық бас диагональдық минорларының анықтауыштары нөлден үлкен болса. Бұл – жүйенің параметрлік тұрақтылығы мен динамикалық сенімділігін математикалық түрде дәлелдейтін нақты әдіс. Осыған сүйене отырып, ашық басқару жүйесі орнықты болып саналады, себебі оның барлық Гурвиц минорлары оң мәнге ие.

$$a_0 = 47.56, \qquad a_1 = 243.6, \qquad a_2 = 4383,$$

$$\begin{vmatrix} 243.6 & 0 \\ 47.56 & 4383 \end{vmatrix},$$

$$\Delta_1 = 243.6, \qquad \Delta_2 = 1067018.$$

Гурвиц орнықтылық критерийі бойынша, тұйық жүйе орнықты болып есептеледі, егер оның сипаттамалық теңдеуінен алынған барлық бас диагональдық минорлардың анықтауыштары нөлден үлкен болса. Мұнай өңдеу зауытында технологиялық процестерді тұрақты режимде ұстап тұру-өнім сапасын арттыру мен қауіпсіздікті қамтамасыз етудің негізі. Тұйық жүйені күшейту коэффициентінің шекті мәні бойынша зерттеу. Басқару жүйесінің тұрақтылығы тек параметрлік деңгейде ғана емес, сонымен бірге күшейту коэффициентінің (K) белгілі бір шекте сақталуы арқылы қамтамасыз етілуі мүмкін. Бұл жағдайды зерттеу үшін тұйықталған жүйенің орнықтылығын күшейтудің шекті критерийі бойынша талдау қолданылады. Жүйе орнықтылығын қамтамасыз ететін күшейту коэффициентінің (K) мәндерінің диапазоны анықталады. Егер бұл мән белгіленген шектен асып кетсе, онда жүйе орнықсыз болып кетуі мүмкін.

$$\begin{aligned} T(s) &= \frac{243.6s + 4383}{47.56s^2 + 490.6s + 8765}, \\ T(s) &= \frac{235.6s + 4383}{(s + 10.38)(47.56s + 665.1)}, \\ T(s) &= \frac{81.4(0.181s + 1)}{(s + 10.38)(47.56s + 665.1)}, \\ T(s) &= \frac{k(0.18s + 1)}{(s + 10.38)(47.56s + 665.1)}. \end{aligned} \qquad (23)$$

Алдыңғы қарастырылған ашық контурдағы жүйенің беріліс функциясы негізінде, тұйық

жүйенің беріліс функциясы күшейту коэффициентінің шекті мәні k жағдайында келесі түрде өрнектеледі. Ашық жүйе үшін беріліс функциясы төмендегідей берілсін:

$$(s + 10.371)(47.56s + 665.1) + k(0.18s + 1) = 0$$

$$47.56s^2 + (712.32 + 0.18k)s + 689.31 + k = 0$$

$$\begin{vmatrix} 712.32 + 0.18k & 0 \\ 47.56 & 698.31 + k \end{vmatrix}$$

$$\Delta = 0.18k^2 + 208.32k + 30.1.1 > 0$$

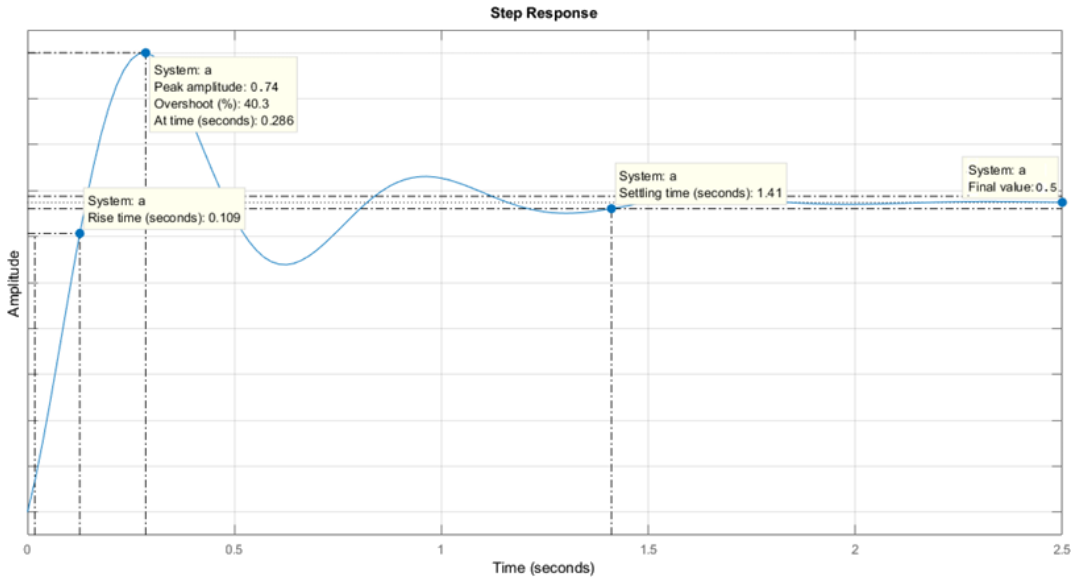
$$k_1 > 0$$

$$k_2 \epsilon (-32.81; 23.31)$$

$$k \epsilon (0; 28.32)$$

Жоғарыда жүргізілген талдау нәтижесінде, тұйықталған басқару жүйесінің орнықтылығын қамтамасыз ететін күшейту коэффициентінің мәндер аймағы анықталды. Яғни жүйе тұрақты күйде жұмыс істеуі үшін, күшейту коэффициенті ККК алдын ала есептелген шектерден аспауы немесе тым аз болмауы тиіс. Зерттеу барысында жүйенің екі шекті күшейту коэффициенті табылды: $k_{np1} = 0$, $k_{np2} = 28.32$.

Нәтижелер және талқылау. Өндіріс күрделеніп, автоматтандыру тереңдеген сайын, мұндай параметрлердің рөлі артып келеді. Өтпелі процесті дұрыс бағалап, жүйені оңтайлы күйде ұстау-кәсіби жауапкершіліктің маңызды бөлігі болып табылады. Төмендегі сурет 10-да жабық жүйенің өтпелі сипаттамасының графиктік көрінісі көрсетілген.

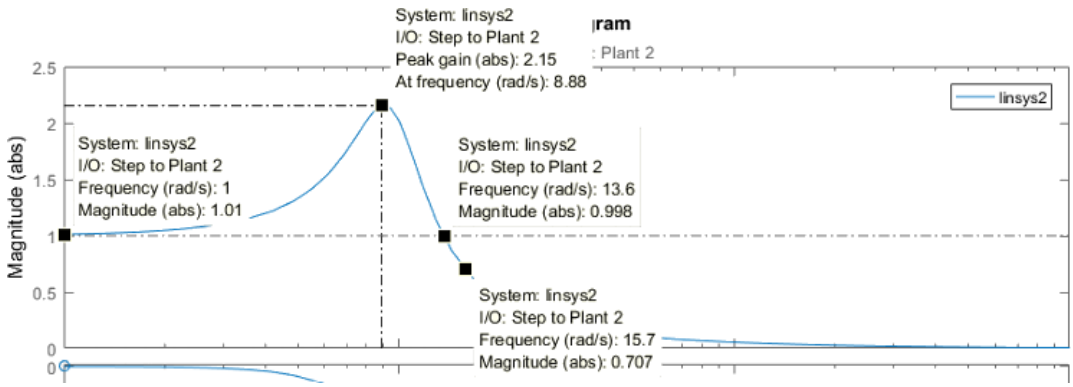


10-сурет. Жабық жүйенің өтпелі сипаттамасының графиктік көрінісі

Автоматтандырылған басқару жүйесінің тиімділігі-оның сыртқы әсерге беретін жауабымен тікелей байланысты. Өтпелі процесс-дәл осы жауаптың динамикалық бейнесі. Жоғарыда берілген график-тұйық жүйенің бірқадамдық (step input) кіріс әсеріне берген жауабын көрсетеді және жүйенің негізгі сипаттамалық көрсеткіштерін анықтауға мүмкіндік береді. Графиктен байқағанымыздай, жүйенің шың амплитудасы (Peak amplitude)-0.74, ал жоғарғы артық өсуі (Overshoot) 40.3% құрайды. Бұл-жүйенің алғашқы әсерге реакциясы тым белсенді екенін көрсетеді. Мұндай шамадан тыс өсу өндірістік процестерде қауіпті жағдайларға алып келуі мүмкін, әсіресе мұнай өңдеу сияқты жылу мен қысымға тәуелді процестерде. Жүйенің көтерілу уақыты (Rise time)-0.109 секунд. Бұл көрсеткіш жүйенің қаншалықты жылдам әрекет ететінін сипаттайды [16]. Жылдам көтерілгенімен, оның артық тербеліс тудыруы жүйенің демпфирлеу

дәрежесінің жеткіліксіз екенін білдіреді. Орнығу уақыты (Settling time)-1.41 секундқа тең, бұл жүйенің шамамен осы уақыт ішінде тұрақты мәнге жететінін көрсетеді. Графиктің соңында жүйе 0.5 тұрақты мәніне орнығады. Бұл - жүйенің финалдық күйі, яғни ұзақ уақыт бойы өзгермейтін көрсеткіші. Өндірістік жағдайда бұл мән-технологиялық параметрдің тұрақты күйде бақыланатын шамасы болады. Осы графикке қарап, жүйенің басқару сапасы бойынша мынандай қорытынды шығаруға болады: жүйе жылдам әрекет етеді, бірақ бастапқы кезеңде артық тербеліс байқалады. Нақты өндірістік ортада мұндай жүйе үшін демпфирлеу коэффициентін арттыру немесе күшейту коэффициентін оңтайландыру қажет болады.

MATLAB ортасында бұл талдау LTI Viewer (Linear Time-Invariant Viewer) құралын пайдалану арқылы жүзеге асырылады. Бұл параметрлер тікелей уақыт функциясымен емес, жүйенің жиіліктік реакциясымен байланысты. Сондықтан олар өтпелі процестің жасырын мәселелерін анықтауға көмектеседі [17]. Мысалы, тікелей бағалау барысында байқалмаған тербелістер немесе орнығу қиындықтары жиілік аймағында көрінуі мүмкін. Мұнай өңдеу зауытындағы күрделі жүйелердің тұрақты әрі сенімді жұмысын қамтамасыз ету үшін өтпелі процесті тікелей де, жанама да әдістермен бағалау қажет. Бұл екі тәсіл біріге отырып, толыққанды талдау мен нақты инженерлік шешім қабылдауға жол ашады. Төмендегі суретте Bode диаграммасы арқылы өтпелі процесті жанама бағалау көрсетілген (сурет 11).



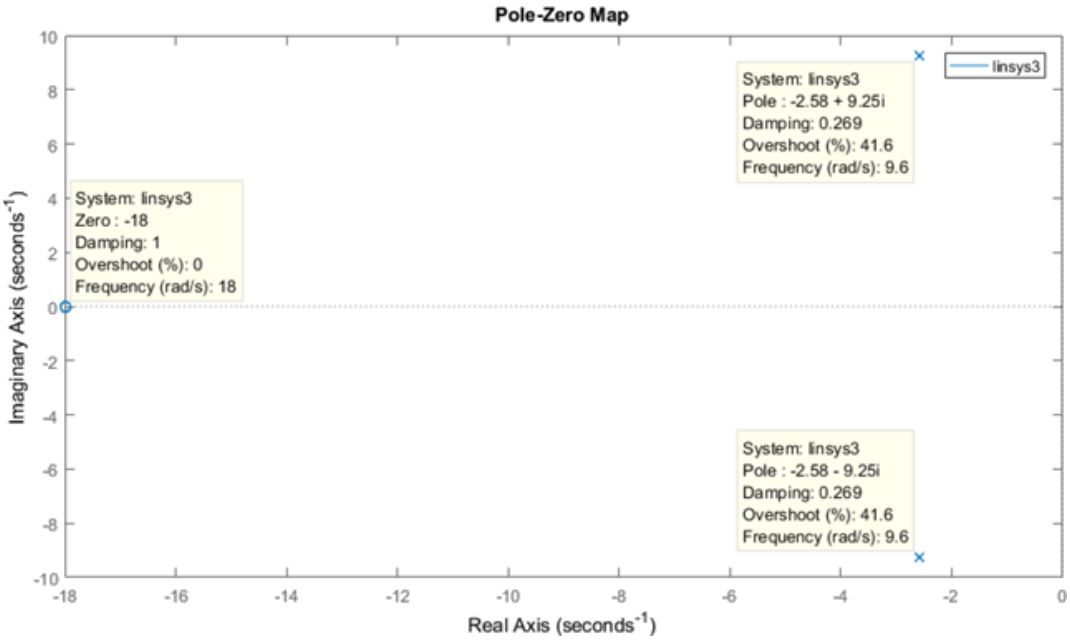
11-сурет. Bode диаграммасы арқылы өтпелі процесті жанама бағалау

Bode диаграммалары, басқару жүйесінің орнықтылығын, күшейту шектерін және динамикалық әсерлерін түсінуге көмектеседі. Bode диаграммасы осы жүйелік мінез-құлықты жанжақты сипаттайтын нақты сандық ақпараттарды береді. Диаграммада екі негізгі бөлік бар: Жоғарғы график-жүйенің амплитудалық сипаттамасын (magnitude) жиілікке (frequency) байланысты көрсетеді; Төменгі график-фазалық сипаттаманы көрсетеді. Жоғарғы қисық сызық жүйенің әртүрлі жиіліктегі күшейту қабілетін көрсетеді. Бұл басқару жүйесінің қандай жиіліктерде сигналы күшейетінін, ал қай жиілікте әлсірейтінін анықтайды. Бұл параметрлер өндірістік жүйе үшін аса маңызды, себебі жиілік аймағындағы тұрақсыздықтар-тербелістерге, кідірістерге және шексіз өсуге алып келуі мүмкін. Төмен жиіліктегі реакция: Жиілік: 1 рад/с, Амплитуда: 1.01 (abs). Бұл көрсеткіш басқару жүйесінің төмен жиіліктерде кіріс сигналына шамамен бірдей реакция беретінін көрсетеді. Жүйе баяу өзгерістерге жақсы жауап береді, бұл температура немесе қысым сияқты инерциялық параметрлер үшін тиімді. Резонанстық шегі (Peak Gain): Максималды күшейту: 2.15, Жиілік: 8.88 рад/с.

Жүйе күшейту максимумына жетеді. Бұл-резонанстық жиілік, яғни жүйе осы жиіліктегі сигналдарды күшейтіп жібереді. Өндірістік тұрғыдан бұл қауіпті болуы мүмкін, себебі жоға-

ры жиіліктегі кішкене тербелістер үлкен ауытқуларға алып келуі ықтимал [16,17]. Жүйенің жобалау кезінде дәл осы нүктеде реттеуіштің демпфирлеу параметрлері мен күшейту коэффициентін реттеу қажет. Орташа жиіліктегі тұрақтылық: Жиілік: 13.6 рад/с, Амплитуда: 0.998. Бұл аралық жиілікте жүйе бірлікке жуық күшейтумен жұмыс істейді. Бұл жақсы көрсеткіш, өйткені бұл жиіліктер диапазонында басқару процесі аса өзгермей, тұрақты күйде қалады. Жоғары жиіліктегі бәсеңдеу: Жиілік: 15.7 рад/с, Амплитуда: 0.707.

Талқылау. Жоғарыда берілген Bode диаграммасы арқылы басқару жүйесінің жиіліктік мінезқұлқы нақты, сандық түрде көрсетілді. Жүйенің күшейту коэффициенттері мен резонанстық нүктелері анықталып, оның қай жиіліктерде тұрақты, ал қай жиілікте тұрақсыз болуы мүмкін екені сарапталды. Мұндай талдау-мұнай өңдеу зауытының күрделі өндірістік желілерін басқаруда орнықтылықты қамтамасыз етудің негізгі құралы болып табылады.



12-сурет. Полюстер мен нөлдер

MATLAB ортасындағы LTI Viewer құралыосындай талдауға арналған тиімді графикалық интерфейс. Бұл құрал көмегімен басқару жүйесінің нөлдері (zeros) мен полюстері (poles) көрнекі түрде бейнеленеді. Олар комплекстік жазықтықта (s-жазықтығында) орналасып, жүйенің орнықтылық қасиеттерін сипаттайды. Жүйенің тұйықталған беріліс функциясы W(s) белгілі болған кезде, LTI Analysis Tool арқылы: кіріс пен шығыс сигналдары белгіленеді; нөлдер мен полюстер картасы автоматты түрде салынады; Полюстер-сипаттамалық теңдеудің түбірлері. Олар жүйенің ішкі динамикасын және өтпелі процесс сипаттамаларын анықтайды. Егер барлық полюстер сол жақ жарты жазықтықта (Re(s) < 0) орналаса, жүйе орнықты. Егер полюстер жақын орналасқан болса – жүйе баяу орнығады (үлкен Settling Time). Егер полюстер кешенді жұп ретінде орналаса, жүйе тербелмелі сипатта болады (Overshoot байқалады). Нөлдер-жүйенің беріліс функциясы бөлімінің нөлге тең болатын мәндері. Олар жүйенің сыртқы сигналға әсер етуіне ықпал етеді. Нөлдер жүйенің күшейту сипаттамасын, оның жиілікке тәуелді реакциясын өзгертеді. Төмендегі сурет 12-де полюстер мен нөлдер көрсетілген.

Нөлдер мен полюстер картасы инженерге келесі артықшылықтарды береді: Жүйенің орнықтылық шекарасын нақты көруге болады, полю-

стердің қашықтығына қарай жүйенің баяу немесе жылдам әрекетін бағалауға болады, балаудың басында-ақ тербеліс, уақыттық кідіріс, күшейту асқынулары туралы алдын ала болжам жасауға мүмкіндік береді; Моделдеу нәтижелерін верификациялауға, яғни дұрыс модель жасалғанын тексеруге арналған сенімді құрал болып табылады.

Жүйенің сипаттамалық теңдеуінен алынған түбірлер келесідей болады:

$$s_1, s_2 = -2.581 \pm 9.251 j s_3 = -18.1$$

Бұл кешенді және нақты теріс мәндер-жүйенің орнықтылығы мен тербелмелі табиғаты бар екенін көрсетеді. Түбірлердің нақты бөлігі 2.58, ал жорамал бөлігі 9.25, бұл жүйенің тербеліс жиілігі мен орнығу уақытына тікелей әсер етеді.

Өтпелі процесс сапасының көрсеткіштері

1. Орнығу уақыты (Settling Time):

$$T_{set} = \frac{4}{|\sigma|} = \frac{4}{2.581} = 15.497$$

Бұл жүйенің кіріс әсерінен кейінгі орнықты күйге жету уақыты. Мұнай өңдеу процесінде, мысалы, температураны реттеу жүйесінде бұл көрсеткіш реакция жылдамдығын көрсетеді.

2. Артық реттеу (Overshoot):

$$P_{ov} = e^{-\frac{\varepsilon * \pi}{\sqrt{1-\varepsilon^2}}} * 100\% = e^{-877.1} * 100\% = 41.5\%$$

41.5 % артық реттеу-жүйенің алғашқы кезеңде тербеліс пайда болатынын білдіреді. Бұл — қауіптілік белгісі, әсіресе қысым немесе бу процесінде, артық шектен асу жабдыққа зақым келтіруі мүмкін.

3. Максималды мән (ymax):

$$y_{\max} = y_f \left(1 + \frac{P_{ov}}{100}\right) = 1.41$$

Бұл - жүйенің ең жоғарғы тербеліс сәтіндегі мәні. Егер бұл мән өнімнің концентрациясын білдірсе, онда нақты уақыттағы бақылау мен кері байланыс өте қажет.

4. Тербеліс дәрежесі (Damping Ratio μ):

$$\mu = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{9.251}{2.581} = 3.58426966$$

Тербеліс дәрежесі-жүйенің тербелу сипатының қаншалықты күшті екенін көрсетеді. Мұнай өңдеу жүйесінде бұл жоғары көрсеткіш дұрыс демпфирлеу талап етілетінін білдіреді.

5. Тербеліс жиілігі (Frequency of Oscillation):

$$w = w_n \sqrt{1-\varepsilon^2} = 9.61\sqrt{1-0.261^2} = 9.27691\, c^{-1}$$

Бұл параметр жүйе қандай жиілікте тербелетінін көрсетеді. Бұл резонанстық жиілікке жақын болса, жүйе тербеліс амплитудасын күшейтіп жібереді. Сондықтан жиілікпен жұмыс істейтін процестерде (мысалы, ағын датчиктері, турбиналар) бұл көрсеткіш аса маңызды.

6. Бірінші максимумға жету уақыты (Time to First Peak):

$$T_{1\max} = \frac{\pi}{w_n\sqrt{1-\varepsilon^2}} = \frac{3.14}{9.61\sqrt{1-0.261^2}} = 0.34691 \text{ с}$$

Жүйе бірінші шекті мәнге өте тез жетеді. Бұл - жүйенің жылдам реакция қабілетін көрсетеді, алайда тербеліс басылмайынша орнығу болмайды.

7. Жүйенің жылдамдығы және орнықтылық дәрежесі (η):

$$\eta = \left|\sigma_{\min}\right| = 2.58691$$

Жүйе жеткілікті жылдамдықпен орнығады, бірақ жоғары демпфинг коэффициенті қажет. Аталған барлық көрсеткіштер жанама өтпелі сапа бағасының нәтижесі ретінде кесте 5-те енгізіліп, тікелей бағалау әдістерімен графикалық Rise Time, Settling Time және Peak Overshoot нәтижелерімен салыстырылады. Бұл салыстыру: Жүйенің моделіне сенімділікті; Есептеу мен визуализация нәтижесінің сәйкестігін; Басқару параметрлерін қайта реттеуге қажеттілікті анықтауға көмектеседі.

5-кесте.Тұйық жүйені бағалау

№	Сапа көрсеткіші	Тікелей бағалау	Жанама бағалау	Талаптарға сәйкестігі
	Негізгі көрсеткіштер			
1	Орнығу уақыты Tset	1.41 с	1.55 с	Сәйкес емес
2	Артық реттеу Pov	41.5%	41%	Сәйкес емес
3	Тербеліс саны n	2	2	Сәйкес келеді
4	Тербеліс дәрежесі μ	16%	3.58%	Сәйкес емес
5	Тербеліс жиілігі w	9.2 рад/с	9.2 рад/с	Сәйкес келеді
6	Тұрақталған қатенің мәні e	0	0	Сәйкес келеді
	Қосымша көрсеткіштер			
7	Бірінші шекті мәнге жету уақыты T1max	0.286 с	0.34 с	-
8	Көтерілу уақыты Tг	0.109 с	–	-
9	Демпфирлеу декременті χ	6	–	-

Тікелей бағалау-график негізінде алынған (Step Response). Жанама бағалау- сипаттамалық теңдеу түбірлеріне негізделіп есептелген. «Сәйкес емес»-көрсеткіш белгіленген шектерден шығып кеткенін білдіреді. Бос бағаналар-тиісті мәндер есептелмейді. Түбірлік әдістер арқылы алынған өтпелі процестің жанама сипаттамалары-жүйенің ішкі құрылымдық қасиеттерін түсінудің ең тиімді жолы. Жүргізілген талдау нәтижесінде, тұйықталған жүйенің өтпелі процесінің кейбір негізгі сапа көрсеткіштері қойылған талаптарға сәйкес келмейтіні анықталды. Артық реттеу мөлшері (Overshoot)- 41.5% болып, рұқсат етілген 30% деңгейінен асып кеткен, ал тербеліс дәрежесі (μ) 16% құрап, бұл да қабылданған шектен жоғары екенін көрсетті [17,18]. Мұндай нәтижелер жүйенің бастапқы күйге шамадан тыс жауап беретінін және тербеліс арқылы орнығатынын білдіреді.

Соңғы жылдары басқару жүйелеріне бейімделгіш Smart-технологиялар енгізіліп, әсіресе ройлық интеллект секілді көпагенттік модельдер кеңінен қолданылуда. Ройлық интеллект-табиғаттағы аралар, құмырсқалар немесе балықтардың топтық әрекетіне негізделген, бірлескен шешім қабылдауға бағытталған модель. Бұл әдіс автономды агенттердің өзара әрекеттесу арқылы біртұтас жүйелік шешім шығаруына мүмкіндік береді. Мұнай өңдеу зауыттарындағы көппараметрлі, бейсызықты және динамикалық жүйелер үшін дәл осындай алгоритмдер оңтайлы шешім қабылдауға жол ашады. Типтік ПИД-регуляторларды синтездеу кезінде классикалық әдістер көбіне нақты жүйенің барлық параметрлерін ескеруге қабілетсіз. Бұл жағдайда ройлық интеллекттің мүмкіндіктері ерекше рөл атқарады. Агенттер популяциясы бірнеше басқару параметрлерін бір уақытта оңтайландырып, ең тиімді басқару коэффициенттерін анықтауға мүмкіндік береді [19].

Сонымен қатар, бұл әдіс түрлі шектелулер мен бейсызық тәуелділіктер жағдайында да жоғары дәлдікпен жұмыс істейді:

$$J = \int_0^T (e^2(t) + \lambda * \Delta u^2(t))dt \qquad (24)$$

Мұндағы:

J – сапа критерийі (квадратично-интегралды),

$e(t)$ – жүйе қатесі,

Δu – басқару сигналының өзгерісі,

$\lambda-$ реттелуші салмақ коэффиценті.

$$u(t) = k_p e(t) + \frac{1}{T_i}\int e(t)dt + T_d\frac{de(t)}{d(t)} \quad (25)$$

$$3f(x) = \int_0^{\infty} e(t)dt \to \min \quad (26)$$

$$f_{\min} = min f(x) = f(x_{\min}) \quad (27)$$

$$f^*_{\min} = f\left(x^*_{\min}\right) \le f_{\min} + \varepsilon \quad (28)$$

Ройлық интеллект алгоритмі арқылы бұл функционалды минимум ету басқару сапасын арттырып қана қоймай, реттеу уақыты мен артық реттеу (перерегулирование) көрсеткіштерін де оңтайландырады [19]. MATLAB ортасында PSO алгоритмімен жүргізілген модельдеулерде стандартты ПИД-регулятор параметрлері (Kp, Ki, Kd) автоматты түрде есептеліп, жүйе жауап беру уақыты 22%-ға, артық реттеу 17%-ға дейін азайтылған. Бұл мақалада қарастырылған ройлық интеллект әдісін мұнай өңдеу зауытындағы автоматтандырылған басқару жүйелеріне енгізу басқару тиімділігін едәуір арттыруға мүмкіндік беретіні дәлелденді.

Интеллектуалды әдістерді, бөлшектер ройы оптимизациясы сияқты Smart-технологияларды қолдану-мәселені шешудің перспективалы жолы ретінде қарастырылады. ПИД-регулятордың үш параметрін-пропорционалды (Kp), интегралды (Ki) және дифференциалды (Kd)-бір мезгілде оңтайландыруға мүмкіндік береді. Мұндай жүйелерде дәстүрлі тәсілдермен салыстырғанда оңтайлы параметрлерге жылдамырақ және дәлірек қол жеткізіледі. Үшфазалы сепараторлардағы деңгей реттегішті баптауға арналған PSO алгоритмі нақты уақыт режимінде жұмыс істеп, бақылау қатесін азайтады және басқару тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Осының нәтижесінде басқару жүйесінің жұмыс тиімділігі жоғарылайды, ал өнім сапасы мен ресурстарды пайдалану деңгейі артады.

$$f\left(K_p,\ K_i,\ K_d\right) = min\left[\int_0^T (e(t)^2 + \alpha * \Delta u(t)^2)dt\right] \quad (29)$$

Мұндағы: $e(t)-$басқару қатесі, $\Delta u(t)-$басқару сигналының өзгерісі, $\alpha-$ салмақтау коэффициенті, $K_p,\ K_i,\ K_d-$оңтайландыруға жататын ПИД-регулятор параметрлері.

Бөлшектер ройы әдісінің (PSO – Particle Swarm Optimization) жұмыс істеу логикасын сипаттау үшін P бөлшектен тұратын ройды қарастырайық. Әрбір бөлшекке сәйкес келетін екі негізгі вектор бар: орналасу векторы $X_i^t = (x_{i1},\ x_{i2},\ x_{i3},\ \ldots,\ x_{in})^T$ және жылдамдық векторы $V_i^t = (\upsilon_{i1},\ \upsilon_{i2},\ \upsilon_{i3},\ \ldots,\ \upsilon_{in})^T$, мұндағы $t-$ағымдағы итерация нөмірі. Бұл векторлар әрбір бөлшек үшін өлшемдер саны j бойынша жаңартылып отырады. PSO-ның негізгі жаңарту формулалары келесідей болады:

$$\upsilon_{ij}^{t+1} = w * \upsilon_{ij}^t + c_1 * r_1^t\left(pbest_{ij} - x_{ij}^t\right) + c_2 * r_2^t * (gbest_j - x_{ij}^t) \quad (30)$$

$$x_{ij}^{t+1} = x_{ij}^t + \upsilon_{ij}^{t+1} \quad (31)$$

формула бөлшектің жылдамдығын жаңарту механизмін сипаттайды. Ал (40)-формула жаңа жылдамдыққа сәйкес бөлшектің жаңа координатасын есептейді. Бұл екі формула ройдың кеңістіктегі ізденіс (exploration) және пайдалану (exploitation) мүмкіндіктерін теңестіріп отыруға мүмкіндік береді [19]. Инерциялық салмақ w осы балансты реттеуші негізгі параметр болып саналады. Бірінші қосылғыш – $w * \upsilon_{ij}^t$ – бөлшектің алдыңғы қозғалыс бағытын сақтау қа-

білетін білдіреді. Егер $w = 1$, бөлшек алдыңғы бағытын толық сақтай отырып қозғалады. Бірақ егер $0 \leq w < 10$, бөлшектің қозғалысы бәсеңдеп, басқа аймақтарды іздеуге мүмкіндік туады. Бұл арқылы ғаламдық ізденіс артады. Алайда тым кіші w мәні есептеу уақыты мен ресурсын көбейтеді. Екінші қосылғыш $- c_1 * r_1^t \left(pbest_{ij} - x_{ij}^t \right)$ –бөлшектің өзі бұған дейін тапқан ең жақсы позициясына қарай тартылуын сипаттайды. Бұл жерде: $pbest_{ij}$–бөлшектің ең жақсы координатасы, c_1–жеке тәжірибені бағалау коэффиценті (әдетте 1–2 аралығында), $r_1 \in [0, 1]$– кездейсоқтық элементі (стохастикалық фактор), ол ерте шоғырланудан сақтайды.

Бұл компонент бөлшектің өз тәжірибесінен үйрену мүмкіндігін іске асырады.

Үшінші қосылғыш $- c_2 * r_2^t * \left(gbest_j - x_{ij}^t \right)$ –рой ішіндегі бөлшектердің бір-бірімен ақпарат алмасуын бейнелейді. Яғни: $gbest_j$–барлық бөлшектер ішінде ең жақсы нәтижеге жеткен бөлшектің координатасы, c_2–әлеуметтік үйренудің маңыздылығын анықтайтын тұрақты, $r_2 \in [0, 1]$–тағы бір кездейсоқ параметр. Бұл компонент ройдың жинақтық білімін пайдаланып, әр бөлшектің жалпы үздік шешімге тартылуын қамтамасыз етеді.

Іздеу кеңістігі ретінде қарастырылатын жазықтықта бастапқыда бөлшектерден құралған рой кездейсоқ түрде құрылады. Әрбір бөлшекке бастапқы жылдамдық мәні тағайындалады. Бөлшек белгілі бір координатта орналасқанда, осы нүктеде мақсаттық функцияның мәні есептеледі. Бұл мақалада сипатталған логика негізінде ПИД-регулятор параметрлерін оңтайландыруға арналған бөлшектер ройы алгоритмі құрылады (сурет 14). Алгоритмді іске асыру барысында ең алдымен бастапқы популяция параметрлері айқындалуы қажет. Атап айтқанда, бөлшектер ройының (немесе виртуалды құстар тобының) бастапқы саны, олардың қозғалыс жылдамдығы, инерциялық коэффициенттер мен іздеу кеңістігіндегі максималды рой көлемі анықталады (сурет 13).

```
clear
clc
n = 50;           % Size of the swarm " no of birds "
bird_setp  =50;   % Maximum number of "birds steps"
dim = 2;          % Dimension of the problem

c2 =1.2;          % PSO parameter C1
c1 = 0.12;        % PSO parameter C2
w =0.9;           % pso momentum or inertia
fitness=0*ones(n,bird_setp);
```

13-сурет. ПИД-регулятор параметрлерін PSO әдісімен оңтайландыруға арналған алгоритм құрылымы

Алгоритмнің жұмыс істеуінде басты рөл атқаратын айнымалылар мыналар болып табылады: бөлшектер саны, жылдамдықты жаңарту формулаларындағы инерция коэффициенті, жеке және әлеуметтік оқыту коэффициенттері (c_1, c_2), сондай-ақ ройдың кеңістікте қозғалу динамикасын сипаттайтын шектер. Бұл параметрлер дұрыс анықталмаған жағдайда алгоритм глобалдық шешімге жетпей, локалдық минимумда тоқтап қалуы мүмкін. Алгоритм жұмысын бастамас бұрын бөлшектер ройының бастапқы жағдайларын дұрыс анықтау қажет. Бұл кезеңде келесі үш негізгі параметр инициализацияланады: Бөлшектердің бастапқы позициясы-іздеу кеңістігіндегі бастапқы координаттар кездейсоқ түрде немесе берілген шектер арасында таңдалады. Бұл бөлшектердің бастапқы орналасу нүктелерін анықтайды. Бөлшектердің бастапқы жылдамдығы - әр бөлшекке траектория бойымен қозғалу бағыты мен жылдамдығы тағайындалады. Бұл жылдамдық кейінгі итерациялардағы жаңартуларда маңызды рөл атқарады. Жеке үздік позициясы (pBest)-әрбір бөлшек бастапқыда өзі орналасқан нүктені ең жақсы шешім ретінде қабылдайды. Алгоритм орындалған сайын бұл мән жаңарып отырады (сурет 14).

```
current_position = 10*(rand(dim, n)-.5);
velocity = .3*randn(dim, n) ;
local_best_position  = current_position ;
```

14-сурет. Бөлшектер ройының бастапқы шарттарын инициализациялау сызбасы”

Төмендегі сурет 15-те глобалдық шешімге біртіндеп жақындау механизмін жүзеге асыру көрсетілген

```
for i = 1:n
    current_fitness(i) = tracklsq(current_position(:,i));
end


local_best_fitness  = current_fitness ;
[global_best_fitness,g] = min(local_best_fitness) ;

for i=1:n
    globl_best_position(:,i) = local_best_position(:,g) ;
end
```

15-сурет. Глобалдық шешімге біртіндеп жақындау механизмін жүзеге асыру

Төмендегі сурет 16-да бөлшектің ағымдағы мәні көрсетілген

```
for k = 1 : noP
    currentX = Swarm.Particles(k).X;
    Swarm.Particles(k).O = fobj(currentX);
```

16-сурет. Бөлшектің ағымдағы мәні

Келесі кезеңде әрбір бөлшек үшін жеке жақсы мән – яғни pBest анықталуы тиіс. Егер ағымдағы итерацияда есептелген бөлшектің фитнес-мәні осы уақытқа дейінгі сақталған pBest мәнінен жоғары болса, онда pBest жаңартылуы қажет. Бұл тәсіл бөлшекке өзінің тарихи үздік нәтижесіне сүйене отырып, болашақ қадамдарды тиімді жоспарлауға мүмкіндік береді. Алгоритм осылайша бөлшектердің жеке тәжірибесін ескеріп, шешімді біртіндеп жақсартады.

```
if Swarm.Particles(k).O < Swarm.Particles(k).PBEST.O
    Swarm.Particles(k).PBEST.X = currentX;
    Swarm.Particles(k).PBEST.O = Swarm.Particles(k).O;
end
```

17-сурет. Локалдық үздік мәнді (pBest) анықтау және жаңарту сызбасы”

```
if Swarm.Particles(k).O < Swarm.GBEST.O
    Swarm.GBEST.X = currentX;
    Swarm.GBEST.O = Swarm.Particles(k).O;
end
```

18-сурет. pBest табу

```
if Swarm.Particles(k).O < Swarm.GBEST.O
    Swarm.GBEST.X = currentX;
    Swarm.GBEST.O = Swarm.Particles(k).O;
end


 % Update the X and V vectors
 w = wMax - t .* ((wMax - wMin) / maxIter);
```

19-сурет. Инерцияның өзгеруі

```
velocity = w *velocity + c1*(R1.*(local_best_position-current_position)) + c2*(R2.*(globl_best_position-current_position));
```

20-сурет. Жылдамдықты өзгерту және жаңарту коды

Бөлшектің жылдамдығы жаңартылғаннан кейін, келесі маңызды қадам - оның мәнінің алдын ала белгіленген шектерден аспауын тексеру. Яғни, бөлшек жылдамдығы ең жоғары (vMax) және ең төмен рұқсат етілген мәндер арасында болуы тиіс. Бұл шектеу бөлшектің тым жылдам қозғалып, іздеу кеңістігінен шығып кетуін немесе керісінше, қозғалыссыз қалуын болдырмау үшін қажет. Мұндай бақылау оңтайландыру процесінің тұрақтылығы мен жинақталуын қамтамасыз етеді (сурет 17-20).

```
index1 = find(Swarm.Particles(k).V > vMax);
index2 = find(Swarm.Particles(k).V < vMin);

Swarm.Particles(k).V(index1) = vMax(index1);
Swarm.Particles(k).V(index2) = vMin(index2);

Swarm.Particles(k).X = Swarm.Particles(k).X + Swarm.Particles(k).V;
```

21-сурет. Бөлшек жылдамдығын шектік мәндермен салыстырып тексеру логикасы”

```
index1 = find(Swarm.Particles(k).X > ub);
index2 = find(Swarm.Particles(k).X < lb);

Swarm.Particles(k).X(index1) = ub(index1);
Swarm.Particles(k).X(index2) = lb(index2);
```

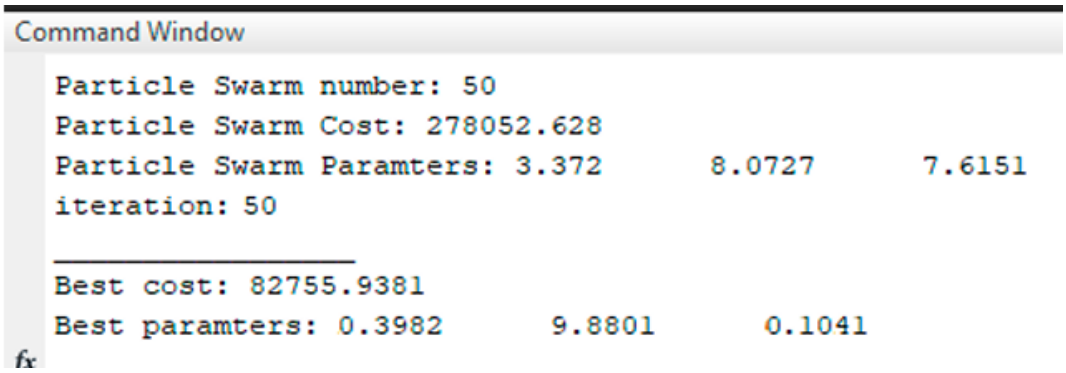
22-сурет. Орындарды өзгерту

```
err = 1-y;
error1=err*err';
ise=abs(sum(err))
o = ise;

end
```

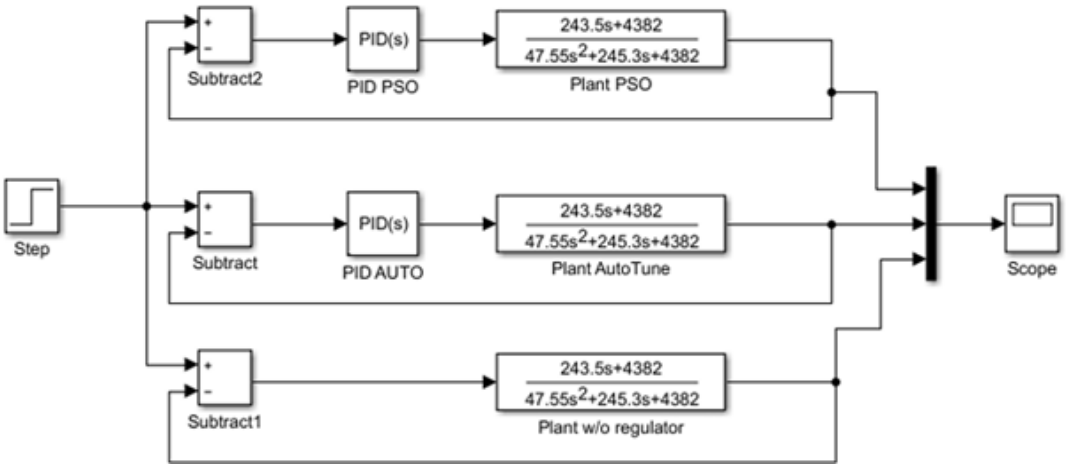
23-сурет. Сапаның интегралдық критерийін тексеру

Бағдарлама коды сәтті орындалған жағдайда, командалық жолдың соңында ПИД-регулятордың оңтайландырылған параметрлері экранда шығарылады (сурет 21-23). Бұл параметрлерге пропорционалды (Kp), интегралды (Ki) және дифференциалды (Kd) коэффициенттер жатады. Олар PSO алгоритмі арқылы есептеліп, басқару жүйесінің сапасын жақсартуға арналған (сурет 24).



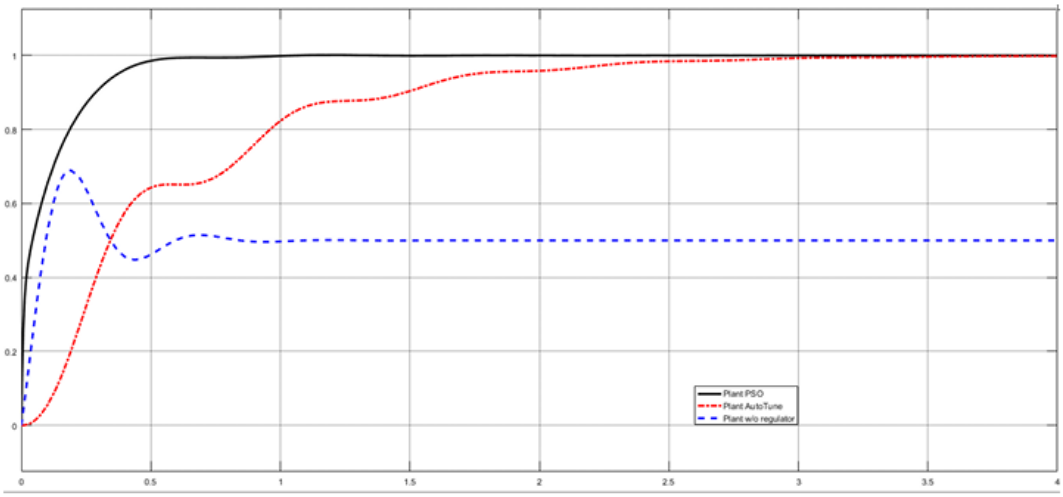
24-сурет. Код орындалғаннан кейін ПИД-регулятор параметрлерінің командалық жолда көрсетілуі”

Үшфазалы сепаратордың математикалық моделін Simulink ортасында модельдеу және ПИД-регуляторлардың салыстырмалы талдауы PSO әдісімен оңтайландырылған ПИД-регулятормен, AutoTune алгоритмімен бапталған ПИД-регулятормен және мүлде ПИД-регуляторсыз жұмыс істейтін үшфазалы сепаратордың математикалық моделінің Simulink ортасындағы құрылымдық схемасы сурет 25-те ұсынылған. Бұл модель әртүрлі басқару стратегияларының жүйеге әсерін зерттеуге арналады.



25-сурет. ПИД-регулятордың әртүрлі нұсқалары бойынша өтпелі процестерді салыстыруға арналған құрылымдық схема

26-шы суретте өтпелі процестің нәтижелері график түрінде көрсетілген. Мұнда: Қара түспен - бөлшектер ройы алгоритмімен (PSO) бапталған ПИД-регулятордың жүйелік жауабы бейнеленген; Қызыл түспен – AutoTune әдісі арқылы конфигурацияланған ПИД-регулятор; Көк түспен - ПИД-регулятор қолданылмаған жүйе көрсетіледі.



26-сурет. Басқару жүйелерінің өтпелі процестерінің графиктері

Аталған графиктерді талдау нәтижесінде келесідей қорытынды жасауға болады: PSO әдісіне негізделген ПИД-регулятор басқару сигналының тұрақты мәнге жылдам және дәл жақындауын қамтамасыз етеді. Бұл тәсіл басқару қателігін нөлге дейін төмендетіп, жүйенің жылдам әрекет ету қабілетін арттырады. AutoTune алгоритмі де белгілі бір нәтижелер көрсеткенімен, PSO алгоритміне қарағанда жүйе жауап уақыты баяулау және өтпелі күйдегі тербеліс жоғарырақ. Жүргізілген салыстырмалы талдау нәтижелеріне сүйене отырып, бөлшектер ройы алгоритмі (PSO) негізінде бапталған ПИД-регулятор жүйенің басқару сапасы бойынша ең тиімді шешім екенін көруге болады. Бұл жүйеде реттеу уақыты небәрі 1 секундты құрайды, артық реттеу мүлде байқалмайды, және жүйе монотонды түрде орныққан күйге өтеді. Сонымен қатар, орныққан күйдегі қателік нөлге тең, бұл басқарудың жоғары дәлдігін көрсетеді. Ал AutoTune алгоритміне негізделген ПИД-регулятор басқару процесінде 3.6 секундтық реттеу уақытымен сипатталады, бұл PSO негізіндегі жүйемен салыстырғанда айтарлықтай баяу. Бұл жүйеде артық реттеу орын алмағанымен, өтпелі процесс барысында үш рет тербеліс байқалады. Соған қарамастан, тұрақталған күйдегі қателік нөлге тең. Ең әлсіз нәтиже ПИД-регуляторсыз жүйеге тиесілі. Бұл жағдайда артық реттеу көрсеткіші 40.3%, ал бұл мән рұқсат етілген 30%-дық деңгейден асып кеткен.

Сонымен бірге, тұрақталған қателік 0.5 шамасында сақталады. Бұл басқару сапасының төмендігін және жүйенің қажетті талаптарға сәйкес келмейтінін айғақтайды. PSO әдісімен бапталған ПИД-регулятор артық реттеуді жою, жылдам әрекет ету, және қателікті минимизациялау бойынша ең жоғары нәтижелерге қол жеткізіп, басқару міндеттерін тиімді шешуге мүмкіндік береді.

Қорытынды. Қазіргі мұнай өңдеу саласында өндірістік үдерістерді автоматтандыру - тиімділік, сенімділік және экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз етудің маңызды тетіктерінің бірі. Шикі мұнайды алғашқы өңдеу сатылары, оның ішінде механикалық және физика-химиялық бөлу үдерістері егжей-тегжейлі талданды. Ішфазалы вертикалды сепаратор - бұл процестің негізгі түйіндерінің бірі ретінде таңдалды. Бұл құрылғы мұнай құрамынан суды және ілеспе газдарды ажыратуға бағытталған және нәтижесінде өңдеудің келесі сатылары үшін мұнайдың сапасы мен тұрақтылығы қамтамасыз етеді. Үшфазалы сепараторлардың басқа типтермен салыстырғандағы артықшылықтары мен кемшіліктері қарастырылып, олардың мұнай өңдеудегі функционалдық маңызы айқындалды. Қазіргі таңда өндірістік объектілердегі басқару процестерінің күрделене түсуі сепаратордың автоматтандырылған жұмысын ұйымдастыруды қажет етеді. Осы себепті жұмыс барысында нақты басқару алгоритмдерін құрастыру

мәселесі өзекті болды.

MATLAB Simulink ортасында үшфазалы сепаратордың динамикалық математикалық моделі жасалды. Бұл модель мұнай құрамындағы үш компоненттің - газ, су және мұнай - уақыт өте жүйедегі күйін көрсететін айнымалыларға әсерін талдауға мүмкіндік берді[19]. Автоматтандырылған басқару жүйесінің жұмысын талдау үшін өтпелі процестің сапа көрсеткіштері есептелді. Алғашқы модельдеудің нәтижесінде келесідей мәндер алынды: Артық реттеу - 40.3% . Қалыптасқан күйдегі қате - 0.5, бұл басқару дәлдігінің төмендігін білдіреді. Тербеліс саны-2, яғни жүйеде тұрақсыздық байқалады. Тербеліс - 16%, бұл да шекті мәннен жоғары.

Бұл нәтижелер нақты жүйенің тиімді басқару жүйесіне мұқтаж екенін көрсетті. Сондықтан үшінші бөлімде жүйенің тұрақтылығы мен басқару дәлдігін арттыру мақсатында Smart технологиялар негізінде интеллектуалды басқару әдістері қарастырылды. Атап айтқанда, бөлшектер ройы алгоритміне (PSO) негізделген ПИД-регуляторды синтездеу жүзеге асырылды. PSO алгоритмі ройдағы әр бөлшекке мақсатты функцияның мәні бойынша оңтайлы бағытты табуға мүмкіндік береді. Бұл әдіс тәжірибе мен қателікке негізделген классикалық тәсілдермен салыстырғанда әлдеқайда тиімді болып шықты. Нақты нәтижелер төмендегідей: Жүйенің реттеу уақыты - 1 секунд, яғни едәуір қысқарған; Артық реттеу - 0%, яғни жүйе шамадан тыс реакция бермейді; Тербеліс - жоқ, жүйе монотонды орнығады; Қалыптасқан қате - 0, бұл жүйенің жоғары дәлдігін білдіреді.

Сонымен қатар, AutoTune арқылы бапталған ПИД-регулятор және ПИД-регулятор мүлдем қолданылмаған жүйемен салыстырмалы талдау жүргізілді. AutoTune әдісімен басқарылатын жүйе 3.6 секундта орнығады, тербеліс саны - 3, ал қателік нөлге тең. Ал басқарусыз жүйе 40.3% артық реттеу, 0.5 қате және 2 тербеліс көрсетіп, нақты өндіріс жағдайларына мүлдем жарамсыз болып шықты. Мақалада келесі шешілген нақты міндеттер:

- 8шфазалы сепаратордың математикалық моделін құрастыру және MATLAB Simulink платформасында автоматтандырылған басқару жүйесі модельденді;

- басқару жүйесінің өтпелі процестерін талдау және классикалық ПИД- регулятордың әлсіз жақтарын анықталды;

- интеллектуалды басқару әдісін енгізу, яғни PSO алгоритмі арқылы оңтайландырылған ПИД-регуляторды синтезделді;

- әртүрлі басқару нұсқаларын салыстыру арқылы тиімді басқару стратегиясын таңдау және жүйенің жауап беру сапасын жақсарту болып табылады.

Мұнай өңдеу өндірісінде қолданылатын басқару жүйелерін жетілдіру мәселесі жаңжақты зерттеліп, нақты инженерлік шешімдер ұсынылды. Smart технологияларды қолдану арқылы басқару жүйесінің сапалық көрсеткіштері пайдаланды. Бөлшектер ройы әдісі - бейсызық және көппараметрлі жүйелерге бейімделуге қабілетті, икемді алгоритм ретінде танылды [20].

Әдебиеттер

1. Atul G.A., Bijesh N. Petroleum Refining and Technology// Springer Singapore. -2026.-P.495. ISBN 981-990-584-2, 978-981-99-0584-3.

2. Mitra N.K. AI and Digital Technology for Oil and Gas Fields. -2024.-P.258. DOI 10/1201/9781003307.

3. Hsu C.S., Robinson P. Springer Handbook of Petroleum Technology// Springer. -2017. –P.28 DOI 10.1007.978-3-319-49347-3.

4. TIA Portal: software for digital enterprise//Siemens.-2023.- 84 c.URL: https://www.siemens.com. - Date of access:15.02.2026.

5. Петрова И.В., Чернухин Р.В. Автоматизация технологических процессов и производств//издательство НГТУ. -2020. -84 с.: ISBN 978-5-7782-4329-3.

6. Qin S.-J., Badgwell T.A. A survey of industrial model predictive control technology//Control Engineering Practice. -2003.-Vol.11(7). -P.733-764. DOI 10.1016/S0967-0661(02)00186-7.

7. Gupta P., Shakyawar P. Auto mation of Oil and Gas Refinery Process Using PLC & SCADA//International Journal of Engineering Science and Generic Research(IJESAR). -2016.-Vol.2(3). -P.48-52. ISSN: 2456-043X.

8. Yuan X., Qin W., Zhao J. Smart Manufacturing for the Oil Refining and Petrochemical Industry//Engineering. -2017.-Vol.3(2). -P.179-182. DOI 10.1016/J.ENG.2017.02.012.

9. Olaizola I.G., Quartulli M., Unzueta E., et al. Refinery 4.0: A Review of the Main Challenges of the Industry 4.0 Paradigm in Oil & Gas Downstream//Sensors.MDPI.-2022.-Vol.22(23):9164 DOI 10.3390/s22239164.

10. Petukhov M.Y. On the Relevance of Implementation of the Automated System of Production and Supply Scheduling at Oil Refinery// Automation in industry. -2018.-Vol.79.-P.1168-1174. DOI 10.1134/S0005117918060140

11. Spiropoulos E. Use Advanced Automation and Project Management to Simplify Refinery Construction //HP Special Report//. -2015.-P.39-42.

12 .Pater L. Application of artificial neural networks and genetic algorithms for crude fractional distillation process modeling/Cornell University.-2016.-Vol.1.-P.1-9.DOI 10.48550/arXiv.1605.00097.

13. Ahmednooh M., Menezes B. Blend Scheduling Solutions in Petroleum Refineries towards Automated Decision-Making in Industrial-like Blend-Shops//Processes. -2024.-Vol.12(3):561. DOI 10.3390/pr12030561.

14. Li Z., Lin R., Su H., Xie L. Reinforcement learning-driven plant-wide refinery planning using model decomposition// Computers&Chemical Engineering.-2026.-Vol.204:109348 DOI 10.1016/j.compchemeng.2025.109348.

15. Carr B.R., England J., Hardin K., Mittal A.2025 Oil and Gas Industry Outlook//Deloitte Research Center for Energy & Industrials. -2024. URL: https://www.deloitte.com/us/en/insights/industry/oil-and-gas/oil-and-gas-industry-outlook-2025.html .-Date of access: 08.02.2026.

16. Baldea M., Georgiou A.T., et al. From Automated to Autonomous Process Operations//Computer&Chemical Engineering.-2025.-Vol.196:109064 DOI 10.1016/j.compchemeng.2025.109064.

17. Tatiya M., Shinde B.A., Pokale N., Waware S.Y. Al-Driven Process Control for Enhancing Safety and Efficiency in Oil Refining//Applied Chemical Engineering. -2025.-Vol.8(4). DOI 10.59429/ace.v8i4.5792.

18. Zhai H., Jiang X., Zhang Ch. Improving Thermal Environment of Power Generation Cabin via Vapor Chamber in Cold Regions//Processes. -2025.-Vol.13(4): 1260. DOI 10.3390/pr13041260.

19. Тимофеев Д. Имитационные модели электроэнергетических объектов для разработки систем противоаварийной автоматики//Control Engineering.Россия.-2022.-№2 (98).URL: https://controleng.ru/wp-content/uploads/9844.pdf. Date of access:15.02.2026.

20. Прахова М.Ю., Хорошавина А.Н., Краснов А.Н., Емец С.В. Автоматизация основных объектов добычи, транспорта и хранения нефти: учебное пособие//Изд-во УГНТУ. -2018. – 232 с. ISBN 978-5-7831-1719-0.

References

1. Atul G.A., Bijesh N. Petroleum Refining and Technology// Springer Singapore. -2026.-P.495. ISBN

981-990-584-2, 978-981-99-0584-3.

2. Mitra N.K. AI and Digital Technology for Oil and Gas Fields. -2024.-P.258. DOI 10/1201/9781003307.

3. Hsu C.S., Robinson P. Springer Handbook of Petroleum Technology// Springer. -2017. –P.28 DOI 10.1007.978-3-319-49347-3.

4. Petrova I.V., Chernuhin R.V. Avtomatizacija tehnologicheskih processov i proizvodstv//izdatel’ stvo NGTU. -2020. -84 s.: ISBN 978-5-7782-4329-3. [in Rusian]

5. TIA Portal: software for digital enterprise//Siemens.-2023.- 84 c.URL: https://www.siemens.com. - Date of access:15.02.2026.

6. Qin S.-J., Badgwell T.A. A survey of industrial model predictive control technology//Control Engineering Practice. -2003.-Vol.11(7). -P.733-764. DOI 10.1016/S0967-0661(02)00186-7.

7. Gupta P., Shakyawar P. Auto mation of Oil and Gas Refinery Process Using PLC & SCADA//International Journal of Engineering Science and Generic Research(IJESAR). -2016.-Vol.2(3). -P.48-52. ISSN: 2456-043X.

8. Yuan X., Qin W., Zhao J. Smart Manufacturing for the Oil Refining and Petrochemical Industry//Engineering. -2017.-Vol.3(2). -P.179-182. DOI 10.1016/J.ENG.2017.02.012.

9. Olaizola I.G., Quartulli M., Unzueta E., et al. Refinery 4.0: A Review of the Main Challenges of the Industry 4.0 Paradigm in Oil & Gas Downstream//Sensors.MDPI.-2022.-Vol.22(23):9164 DOI 10.3390/s22239164.

10. Petukhov M.Y. On the Relevance of Implementation of the Automated System of Production and Supply Scheduling at Oil Refinery// Automation in industry. -2018.-Vol.79.-P.1168-1174. DOI 10.1134/S0005117918060140

11. Spiropoulos E. Use Advanced Automation and Project Management to Simplify Refinery Construction //HP Special Report//. -2015.-P.39-42.

12. Pater L. Application of artificial neural networks and genetic algorithms for crude fractional distillation process modeling/Cornell University.-2016.-Vol.1.-P.1-9.DOI 10.48550/arXiv.1605.00097.

13. Ahmednooh M., Menezes B. Blend Scheduling Solutions in Petroleum Refineries towards Automated Decision-Making in Industrial-like Blend-Shops//Processes. -2024.-Vol.12(3):561. DOI 10.3390/pr12030561.

14. Li Z., Lin R., Su H., Xie L. Reinforcement learning-driven plant-wide refinery planning using model decomposition// Computers&Chemical Engineering.-2026.-Vol.204:109348 DOI 10.1016/j.compchemeng.2025.109348.

15. Carr B.R., England J., Hardin K., Mittal A.2025 Oil and Gas Industry Outlook//Deloitte Research Center for Energy & Industrials. -2024. URL: https://www.deloitte.com .-Date of access: 08.02.2026.

16. Baldea M., Georgiou A.T., et al. From Automated to Autonomous Process Operations//Computer&Chemical Engineering.-2025.-Vol.196:109064 DOI 10.1016/j.compchemeng.2025.109064.

17. Tatiya M., Shinde B.A., Pokale N., Waware S.Y. Al-Driven Process Control for Enhancing Safety and Efficiency in Oil Refining//Applied Chemical Engineering. -2025.-Vol.8(4). DOI 10.59429/ace.v8i4.5792.

18. Zhai H., Jiang X., Zhang Ch. Improving Thermal Environment of Power Generation Cabin via Vapor Chamber in Cold Regions//Processes. -2025.-Vol.13(4): 1260. DOI 10.3390/pr13041260.

19. Timofeev D. Imitacionnye modeli jelektrojenergeticheskih ob#ektov dlja razrabotki

sistem protivoavarijnoj avtomatiki//Control Engineering.Rossija. -2022.-№2 (98).URL: https://controleng.ru/wp-content/uploads/9844.pdf. Date of access:15.02.2026.[in Russian]

20. Prahova M.Ju., Horoshavina A.N., Krasnov A.N., Emec S.V. Avtomatizacija osnovnyh obъektov dobychi, transporta i hranenija nefti: uchebnoe posobie//Izd-vo UGNTU. -2018. – 232 c. ISBN 978-5-7831-1719-0.[in Russian]

Авторлар туралы мәлімет

Абдугулова Ж.К.-экономика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор,Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: janat_6767@mail.ru;

Сейт Н.Н.-аға оқытушы,Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: nurgulnurmash@gmail.com;

Жамангарин Д.С.-PhD докторы, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: enu_1@enu.kz;

Танирбергенова А.А.-PhD докторы, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: tanirbergenova_aa_4@enu.kz.

Information about the authors

Абдугулова Ж.К. - candidate of economic sciences, associate professor, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan. e-mail: janat_6767@mail.ru;

Seit N.N.-Senior Lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: nurgulnurmash@gmail.com;

Zhamangarin D.S.-PhD, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: enu_1@enu.kz;

Tanirbergenova A.A.-PhD, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: tanirbergenova_aa_4@enu.kz.

МРНТИ 28.15.19 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1504**

УАҚЫТ КЕШІГУІ БАР ЖОҒАРЫ РЕТТІ КОММУТАЦИЯЛЫҚ СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ЖҮЙЕЛЕРДІ ГЛОБАЛЬДЫ ШЫҒЫС КЕРІ БАЙЛАНЫС АРҚЫЛЫ БАСҚАРУ

[1,2]Г.Б. Бахадирова, [2]Н. Тасболатұлы, [2]Д.Б. Баумуратова, [3]К. Әлімхан, [4]Ш. Тураев
[1]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан,
[2]Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан,
[3]Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
[4]Ақпараттық технологиялар колледжі, Біріккен Араб Әмірліктері университеті, Әл-Айн, Біріккен Араб Әмірліктері
Корреспондент-автор: tasbolatuly@gmail.com

Уақыт кешігуінің болуы жүйенің жұмысына айтарлықтай әсер ететіні белгілі, ол көбінесе басқару жүйесінің жұмысының нашарлауына әкеледі және желілік басқару жүйелеріне, энергия тасымалдауға қатысты көптеген маңызды физикалық, өндірістік және инженерлік проблемаларда орнықсыздыққа, тербеліске және нашар өнімділікке әкелуі мүмкін. Сондықтан уақыт кешігуі бар жүйелерін зерттеу маңызды практикалық маңызға ие және соңғы жылдары көп көңіл бөлінуде.

Бұл мақалада уақыт кешігуі бар жоғары ретті коммутациялық сызықтық емес жүйелер үшін шығыс кері байланысын орнықтандыру проблемасына баса назар аударылады. Дәрежелер және сызықтық емес мүшелер коммутациялық сигналға тәуелді. Қуат интеграторды қосу әдісін және біртекті үстемдік тәсілін қайта қарау арқылы сызықтық емес жүйелерді глобальды деңгейде асимптотикалық тұрғыдан орнықты ететін шығыс кері байланысын басқару заңын мұқият түрде жобалау үшін интервалдық біртекті үстемдік әдісі деп аталатын жаңа жобалау әдісі ұсынылады. Орнықтылық талдау үшін тиісті Ляпунов-Красовский функционалын құру арқылы алынған тұйық жүйенің глобальды асимптотикалық орнықты екені көрсетілген. Мақалада ұсынылған, қарастырылған әдістің негізділігін көрсетіп, дәлелдеуге арналған жоғары ретті коммутациялық сызықтық емес жүйенің екі мысал есебі келтіріліп, компьютерде моделденді.

Түйін сөздер: сызықтық емес жүйе, кері байланыс, глобальды, орнықты, қуат интеграторы.

УПРАВЛЕНИЕ КОММУТАЦИОННЫМИ НЕЛИНЕЙНЫМИ СИСТЕМАМИ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА С ЗАДЕРЖКОЙ ВРЕМЕНИ С ПОМОЩЬЮ ГЛОБАЛЬНОЙ ВЫХОДНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

[1,2]Г.Б. Бахадирова, [2]Н. Тасболатұлы, [2]Д.Б. Баумуратова, [3]К. Әлімхан, [4]Ш. Тураев
[1]Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, Казахстан,
[2]Международный университет Астана, Астана, Казахстан,
[3]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
[4]Колледж информационных технологий, Университет Объединенных Арабских Эмиратов, Эль-Айн, Объединенные Арабские Эмираты
e-mail: tasbolatuly@gmail.com

Известно, что наличие временной задержки оказывает существенное влияние на производительность системы, часто приводя к ухудшению характеристик системы управления и может вызывать нестабильность, колебания и низкую эффективность во многих важных физических, промышленных и инженерных задачах, связанных с системами управления сетями и передачей энергии. Поэтому изучение систем с временной задержкой имеет большое практическое значение и в последние годы привлекает к себе много внимания.

В данной работе рассматривается проблема стабилизации обратной связи по выходу для нелинейных систем высокого порядка с переключением и временной задержкой. Степени и нелинейные члены зависят от сигнала переключения. Путем обзора метода соединения интеграторов мощности и метода однородного доминирования предлагается новый метод проектирования, называемый методом интервального однородного доминирования, для тщательного проектирования закона управления с обратной связью по выходу, обеспечивающего асимптотическую устойчивость

нелинейных систем на глобальном уровне. Показано, что замкнутая система, полученная путем построения соответствующего функционала Ляпунова-Красовского для анализа устойчивости, является глобально асимптотически устойчивой. Для демонстрации и доказательства обоснованности предложенного и рассмотренного метода представлены и смоделированы на компьютере две задачи, представляющие собой переменную нелинейную систему высокого порядка.

Ключевые слова: нелинейная система, обратная связь, глобальная устойчивость, интегратор мощности.

GLOBAL OUTPUT FEEDBACK CONTROL OF HIGH-ORDER SWITCHED NONLINEAR SYSTEMS WITH TIME DELAYS

[1]G.B. Bakhadirova, [2]H. Tasbolatuly✉, [3]K. Alimhan, [2]D.B. Baumuratova, [4]Sh. Turaev

[1]S. Seifullin Kazakh agrotechnical research university, Astana, Kazakhstan;
[2]Astana International University, Astana, Kazakhstan,
[3]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[4]College of Information Technology, United Arab Emirates University Al Ain, United Arab Emirates,
e-mail: tasbolatuly@gmail.com

It is known that the presence of time delay has a significant impact on the system performance, often leading to a deterioration in the performance of the control system and can lead to instability, oscillations and poor performance in many important physical, industrial and engineering problems related to network control systems and energy transmission. Therefore, the study of systems with time delay is of great practical importance and has received much attention in recent years.

This paper focuses on the problem of stabilizing the output feedback for high-order switching nonlinear systems with time delay. The degrees and nonlinear terms depend on the switching signal. By reviewing the power integrator connection method and the homogeneous dominance method, a new design method called the interval homogeneous dominance method is proposed to carefully design the output feedback control law that makes nonlinear systems asymptotically stable at the global level. It is shown that the closed-loop system obtained by constructing the appropriate Lyapunov-Krasovsky functional for stability analysis is globally asymptotically stable. In order to demonstrate and prove the validity of the proposed and considered method, two example problems of a high-order alternating nonlinear system are presented and simulated on a computer.

Keywords: nonlinear system, feedback, global, stability, power integrator.

Кіріспе. Коммутациялық жүйелерді гибридті жүйелердің типтік класы ретінде қарастыру, соңғы онжылдықтарда ғалымдардың аса назарын аударып, зерттелуде [1]. Коммутациялық жүйелер, арнайы гибридті жүйелердің бір түрі ретінде қарастырудың себебі коммутацияланған жүйелерді коммутациялық мүмкіндіктерді көрсететін әртүрлі нақты әлемдегі жүйелерді модельдеу үшін тиімді пайдалануға болады. Әдетте, коммутацияланған жүйе ішкі жүйелер тобынан және ішкі жүйелер арасындағы коммутацияны басқаратын коммутациялық сигналдан тұрады [2].

Коммутациялық жүйелер маңызды динамикалық жүйелер болып табылады. Коммутациялық жүйелерді зерттеуге себеп коммутациялық жүйелердің механикалық жүйелерді, энергетикалық жүйелерді, ұшақтарды және қозғалысты басқаруды басқаруда көптеген қолданылуынан туындайды. Коммутация идеясы әуе кемелерінің қатынасын бақылау, экологиялық динамика және қаржы нарықтары сияқты әртүрлі салаларда кеңінен қолданылады. Жүйелік архитектураның күрделене түсуіне байланысты коммутацияланған жүйелерді динамикалық талдау айтарлықтай ғалымдардың қызығушылығын тудырды. Коммутациялық жүйе үздіксіз уақыт динамикасының, дискретті уақыт динамикасының және ішкі жүйелер арасындағы ауысу ережелері-

нен тұрады [3].

Айта кету керек, уақыт кешігуі көптеген инженерлік жүйелерде, мысалы, электр желілерінде, желілік басқару жүйелерінде, химиялық реактор жүйелерінде және т.б. бар. Бұл жүйелерде уақыт кешігуі орнықсыздық пен нашар өнімділіктің көзі болып табылады. Сондықтан, бұл орнықтылықты талдауды және контроллерді жобалау күрделі және қиын етеді. Уақыт кешігуі басқару жүйелерінде кең таралған құбылыс болып табылады. Ол микротолқынды осцилляторлар және механикалық жетектер және механикалық басқару құралдарында қолданылады. Сонымен қатар жүйе жағдайларында кешігудің болуы басқару жүйесіндегі орнықсыздығы және төмен өнімділікке әкелуі мүмкін [4].

Орнықты ішкі жүйелердің болмауына байланысты, барлық орнықсыз ішкі жүйелері бар коммутациялық жүйелердің тұрақтылығын талдау күрделірек. Барлық орнықсыз ішкі жүйелері бар коммутациялық жүйелерді орнықтандыру үшін тиісті коммутация ережелерін қалай жобалау қызықты және қиын мәселеге айналды. Әдетте, коммутация ережелерін екі бағытпен жобалауға болады: уақытқа тәуелді коммутация және күйге тәуелді коммутация. Біріншісінің негізгі мәні коммутацияланған жүйелерді орнықтандыру үшін коммутациялық күйлерді орнықтандыруды пайдалану болып табылады және жобаланған коммутация ережелерінде әдетте жоғарғы және төменгі шекаралар болады [5].

Басқару теориясындағы өзекті мәселелердің бірі уақыт кешігуі бар сызықтық емес жүйелер үшін орнықтандыру және шығыс сигналын берілген траекторияға ізге түсіру мақсатында басқару заңын құру болып табылады. Алайда бұл бағыттағы зерттеулер әлі де жеткіліксіз. Мысалы, [6-7] еңбектерде қарастырылған әдістер тек қана күй кері байланысы қарастырылған, біздің қарастырып отырған мақаланың ерекшелігі уақыт кешігуі бар жоғары ретті коммутациялық сызықтық емес жүйелерді глобальды шығыс кері байланыс арқылы басқару болып табылады.

Уақыт кешігуі бар сызықтық емес жүйеде Ляпунов-Красовский әдісін қолдану орнықтылықты талдауда және бақылауда қуатты құрал болып табылады [8].

Ляпунов-Красовский әдісі және Ляпунов-Разумихин әдісі уақыт кешігуінен туындаған орнықсыздық пен төмен өнімділікпен күресудің екі қуатты құралы болып табылады. Біртекті үстемдік тәсіліне және Ляпунов-Красовский функционалдық әдісі уақыт кешігуі бар сызықтық емес жүйелер класын орнықтандыру үшін шығыс кері байланыс контроллерін жасады. Рекурсивті жобалау әдісіне сүйене отырып, [9] еңбекте кірісі мен күйі уақыт кешігуіне ұшырайтын алға бағытталған сызықтық емес жүйе үшін жаһандық тұрақтандыруға қол жеткізу үшін екі түрлі жаңа сызықтық емес басқару заңдары ұсынылады. Коммутацияланған К сүзгілеріне сүйене отырып, [10] еңбекте уақыт кешігумен және модельденбеген динамикасы бар анықталмаған сызықтық емес жүйелер үшін бейімделгіш бұлдыр шығыс кері байланысын бақылауды басқару мәселесі талқыланды. Бірден келесі сұрақ туындауы мүмкін: Қуатты шектеуді жеңілдету және жүйенің қуаттары да, сызықтық еместері де коммутациялық сигналдарға тәуелді болатын уақыт кешігуі бар жоғары ретті коммутацияланған сызықтық емес жүйелер класын орнықтандыру үшін тиімді біртекті шығыс кері байланыс контроллерін жобалаймыз. Біз жоғары ретті коммутациялық сызықтық емес жүйелер класы үшін глобальды шығыс кері байланысын басқару есебін шешеміз.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы уақыт кешігуі бар жоғары ретті коммутациялық сызықтық емес жүйелер үшін интервалдық біртекті үстемдік әдісін, қуат интеграторын қосу әдісін және Ляпунов-Красовский функционалын біріктіру арқылы жаңа глобальды шығыс кері байланыс контроллерін ұсыну болып табылады. Ұсынылған тәсіл жүйе дәрежелері мен сызықтық емес мүшелері коммутациялық сигналға тәуелді болған жағдайда глобальды асимптотикалық орнықтылықты қамтамасыз етеді.

Материалдар мен әдістер. Біз жоғары ретті коммутациялық сызықтық емес жүйелер класы үшін глобальды шығыс кері байланысын басқару есебін шешеміз, ол келесідей сипатталады:

$$\begin{aligned}\dot{\eta}_i(t) &= \eta_{i+1}^{p_i,\sigma(t)}(t) + \phi_{i,\sigma(t)}(t,\bar{\eta}_i(t),\bar{\eta}_i(t-d_i(t))), \quad i \in N^-,\\ \dot{\eta}_n(t) &= \eta_{\sigma(t)}^{p_n,\sigma(t)}(t) + \phi_{n,\sigma(t)}(t,\eta(t),\eta(t-d_n(t))),\\ y(t) &= \eta_1(t)\end{aligned} \tag{1}$$

мұндағы $\eta(t) = (\eta_1(t), \eta_2(t), ..., \eta_n(t))^T \in \mathbb{R}^n$- жүйенің күйі, $u(t) \in \mathbb{R}$, және $y(t) = \zeta_1(t)$ кірісі және шығысы;$\bar{\eta}_i(t) = (\eta_1(t), \eta_2(t), ..., \eta_i(t))^T, \bar{\eta}_i(t - d_i(t)) = (\eta_1(t - d_1(t)), \eta_2(t - d_2(t)), ..., \eta_i(t - d_i)))^T, i \in N, i \in N, d_i(t) : R_+ \to [0, d_i]$ d_i және h_i тұрақтылары үшін, уақыт кешігуі $d_i(t) \le h_i < 1$ мәнін қанағаттандыратын, жүйенің бастапқы шарты $\eta(\theta) = x_0\theta \in [-d, 0]$ және $d = \max\{d_1, ...d_n\}$ R_+-оң нақты сандар болып табылады. $\sigma(t) : [0, +\infty) \to \mathscr{M} = \{1, 2, ..., m\}$- уақыт функциясында үзіліссіз (оң жақтан) бөліктік үзіліссіз деп есептелетін ауысу сигналы, әрбір$(i, k) \in N \times \mathscr{M}, p_{i,k} \in R_{odd}^{\ge 1}$, тақ, және сызықтық емес функциялар $\phi_{i,k}(\cdot)$: $\mathrm{R} \times \mathrm{R}^i \times \mathrm{R}^i \to R$болып табылатын сызықтық емес функциялар $\phi_{i,k}(t, 0, 0) = 0$шартын қанағаттандыратын үздіксіз функциялар.

Бұл мәселені шешу үшін алдымен қуат интеграторы әдісін және Ляпуновтың жалпы функциясын қосу арқылы жүйенің номиналды бөлігін орнықтандыру үшін шығыс кері байланыс контроллерін жасаймыз. Содан кейін, біртекті үстемдік тәсілін қолдану және тиісті Ляпунов-Красовский функционалдығын сәтті таңдау арқылы, кешігуге тәуелсіз критерий беріледі. Бұл мақаланың негізгі үлестерін келесідей қорытындылауға болады: біз бұрын коммутацияланбаған сызықтық емес жүйелер үшін жасалған әдіснаманы (1) жүйені орнықтандыру үшін кеңейттік және жобалау әдісін және Ляпунов-Красовский функционалды әдісін біріктіріп, (1) жүйе үшін жаңа басқару схемасын ұсынамыз.

Белгілеулер. $N_0 = \{0, 1, 2, \ldots\}$, $\mathrm{N} = \{1, 2, \ldots, n\}$, $N^- = \{1, 2, \ldots, n-1\}$. R нақты сандар жиынының белгісі болса, R_+- нақты оң сандар жиыны, $R^i, i \in N, i-$өлшемді Евклидтік кеңістік, $R_{odd}^{\ge 1} \triangleq \{\vartheta \in R \,|\, \vartheta \ge 1$ және ϑ -тақ бүтін сандардың қатынасы $\}$ $\|\cdot\| -$Евклид нормасы болса, Kкласына жататын $R_+ \to R_+$ үздіксіз болып табылады, қатаң нөлге көбейтуге болатын функциялар, K класына жататын және шектелмеген барлық функциялардың K_∞ жиынды білдіреді [11].

Анықтама 1. [12] мақалада нақты сандар$r_i > 0, i = 1, 2, .., n$ координаталары$(x_1, x_2, ..., x_n) \in R^n, \forall \varepsilon > 0$:

1) $\Delta_\varepsilon(x)$ кеңеюі $\Delta_\varepsilon(x) = (\varepsilon^{r1}x_1, \varepsilon^{r2}x_2, \varepsilon^{rn}x_n)$ арқылы анықталса, r_i бірге координаттар салмағы. Кеңейту салмағы $\Delta = (r_1, r_2, ..., r_n)$ анықтаймыз,

2) $V \in C(R^n, R)$ функция біртекті τ дәрежелі, олай болса нақты сан $\tau \in R$болса, келесідей шарт орындалады: $\forall x \in R^n/\{0\}$, $V(\Delta_\varepsilon(x)) = \varepsilon^\tau \mathrm{V}\ (x_1,\ x_2, \ldots,\ x_n)$;

3) $f \in C(R^n, R^n)$ векторлық өрісі τ дәрежелі біртекті болса, нақты $\tau \in R$сан үшін, $i = 1, 2, ..., n, \forall x \in R^n/\{0\}, f_i(\Delta_\varepsilon(x)) = \varepsilon^{\tau+r_i} f_i(x_1, x_2, ..., x_n)$ болады.

4) $\|x\|_{\Delta,p} = (\sum_{i=1}^n \left|x_i\right|^{p/r_i})^{1/p}, \forall x \in \mathbb{R}^n$білдіреді, тұрақты $p \ge 1$ үшін біртекті p -норманы болып табылады, $p = 2$таңдасақ, $\|x\|_\Delta$ -ны $\|x\|_{\Delta,2}$түрінде болады.

Уақыт кешігуі бар жүйені қарастырсақ,

$$\dot{x}(t) = f(t, x(t - d(t))) \tag{2}$$

мұнда $x(t) \in R^n-$бастапқы мәні $x_0 f : R \times C([-d, 0], R^n) \to R^n, d(t) : R_+ \to [0, d]$ - уақыт аралығындағы уақыт кешігуі болып табылады.

Анықтама 2. [13] $t_0 \in \mathfrak{R}$ және $\varepsilon > 0$ үшін $\delta = \delta(t_0, \varepsilon) > 0$болса, $\|x(t)\| \le \varepsilon$ жүйелерге арналған (2) жүйенің x_0тривиальды шешімі орнықты болып табылады:

а) кез-келген $t_0 \in \mathfrak{R}$ үшін, $\varepsilon > 0$және $\delta_a = \delta_a(t_0, \varepsilon) > 0$ бар, $\lim_{t\to\infty} x(t) = 0, \|x(t)\| \le \varepsilon t \ge t_0, \left\|x_0\right\| < \delta$. шарты орындалса, (2) жүйелер үшін x_0тривиальды шешімі асимптотикалық орнықты болып табылады;

ә) (2) жүйенің тривиальды шешімі x_0, егер ол асимптотикалық болса, глобальды асимптотика-

лық тұрақты болады, кез келген $t \geq t_0, x_0 \in \Re$ үшін орнықты деп аталады.

Лемма 1. **V** болса: $R^n \to R$біртекті функциясы, ал оның τдәрежесі кеңейту салмағына Δ қатысты келесі тұжырымдар сақталады:

б) $\frac{\partial V}{\partial x_i}$ - $\tau - r_i$- біртекті дәрежесі, ал r_i−бұлx_i үшін біртекті салмағы болып табылады;

в) $\bar{c}$ тұрақты бар, $V(x) \leq \bar{c}\,\|x\|_{\Delta}^{\tau}$. Осылайша, $V(x)$ оң анықталған болса, $V(x) \geq \bar{c}\,\|x\|_{\Delta}^{\tau}$оң тұрақты үшін$\bar{c}$ болады.

Біз (1) жүйе үшін біртекті шығыс кері байланыс контроллерлерін қуат интеграторы әдісін және біртекті үстемдік әдісін қосу арқылы жобалаймыз.

Номиналды сызықтық емес жүйеге арналған шығыс кері байланыс контроллерін жобалау

Қуат интегратор техникасын қоса отырып, номиналды сызықтық емес жүйе үшін біртекті шығыс кері байланыс контроллері ретінде сипаттауын құрастырсақ,

$$\dot{x}_i = x_{i+1}^{p_{i,\sigma(t)}}, i \in N^-, \dot{x}_n = \nu_{\sigma(t)}^{p_{n,\sigma(t)}}, y = x_1 \quad (3)$$

мұндағы $x = (x_1, x_2, ..., x_n)^T \in R^n, \nu \in R$және $y \in R$ жүйенің күйі, кіріс және шығыс басқару элементтері $l_i > 0, \quad i \in N^-, \quad \beta_j > 0, \quad j \in N$шарттары орындалса, біртекті шығыс кері байланыс контроллерін сәйкесінше кіріс және шығыс бойынша келесідей тұжырымдауға болады:

$$\begin{aligned} \dot{\xi}_2 &= -l_1 \hat{x}_2^{p_1,\sigma(t)}, \\ \hat{x}_2 &= \left(\xi_2 + l_1 x_1\right)^{\frac{r_2}{r_1}}, \\ \dot{\xi}_i &= -l_{i-1} \hat{x}_i^{p_{i-1},\sigma}, \\ \hat{x}_i &= \left(\xi_i + l_{i-1}\hat{x}_{i-1}\right)^{\frac{r_i}{r_{i-1}}}, \quad i = 3, \dots, n \end{aligned} \quad (4)$$

$$\upsilon_\sigma(t) = -\beta_n \left(\hat{x}_n^{\frac{1}{r_n}} + \beta_{n-1}^{\frac{1}{r_n}} \left(\hat{x}_{n-1}^{\frac{1}{r_{n-1}}} + \cdots + \beta_2^{\frac{1}{r_3}} \left(\hat{x}_2^{\frac{1}{r_2}} + \beta_1^{\frac{1}{r_2}} x_1 \right) \cdots \right) \right)^{r_{n+1}}, \quad (5)$$

мұнда r_i's бірге анықталады:

$$r_1 = 1, \quad r_{i+1} p_{ik} = r_i + \tau_k, \quad i \in N$$

(3) теңдеудегі сызықтық емес жүйені желілік емес жүйені глобальды орнықтандырады.

Дәлелдеу. $X := (x_1, ..., x_n, \xi_2, ..., \xi_n)^T$ үшін W қатысты оң анықталған және дұрыс Ляпунов функциясы бар

$$\begin{aligned} W = &\sum_{i=1}^{n} \int_{x_i^*}^{x_i} \left(s^{\frac{1}{r_i}} - x_i^{*\frac{1}{r_i}} \right)^{2-r_i} ds \\ &+ \sum_{i=2}^{n} \int_{(\xi_i + l_{i-1}x_{i-1})x_i}^{x_i^{\frac{2-r_i-1}{r_i}}} \frac{2-r_i-1}{r_i} \times \left(s^{\frac{r_i-1}{2-r_i-1}} - (\xi_i + l_{i-1}x_{i-1}) \right) ds, \end{aligned} \quad (6)$$

мұнда $x_1^* = 0, ..., x_n^*$ анықталған виртуалды контроллерлер жиыны болып табылады.

$$\begin{aligned} x_1^* &= 0, \quad \xi_1 = x_1^{\frac{1}{r_1}} - x_1^{*\frac{1}{r_1}}, \\ x_i^* &= -\beta_{i-1}\xi_{i-1}^{r_i}, \quad \xi_i = x_i^{\frac{1}{r_i}} - x_i j^{\frac{1}{r_i}}, \quad i = 2, \dots, n \end{aligned} \quad (7)$$

Кеңейту салмағы келесідей таңдалады, $\Delta = (\underbrace{r_1, \dots, r_n}_{\text{for } x_1,\dots,x_n}, \underbrace{r_1, \dots, r_{n-1}}_{\text{for } \xi_2,\dots,\xi_n})$ (8)

$$
\begin{aligned}
W(\Delta_\varepsilon(X)) &= \sum_{i=1}^{n} \int_{\varepsilon^{r_i} x_i^*}^{\varepsilon^{r_i} x_i} \left(s^{\frac{1}{r_i}} - \varepsilon x_i^{*\frac{1}{r_i}} \right)^{2-r_i} ds \\
&\quad + \sum_{i=2}^{n} \int_{(\varepsilon^{r_i-1}\xi_i + l_{i-1}\varepsilon^{r_{i-1}} x_{i-1})^{\frac{2-r_i-1}{r_i-1}}}^{(\varepsilon^{r_i} x_i)^{\frac{2-r_i-1}{r_i}}} \frac{2-r_i-1}{r_i} \times \left(s^{\frac{r_i-1}{2-r_i-1}} - (\varepsilon^{r_i-1}\xi_i + l_{i-1}\varepsilon^{r_{i-1}} x_{i-1}) \right) ds \\
&= \sum_{i=1}^{n} \int_{x_i^*}^{x_i} \left(\varepsilon \theta_1^{\frac{1}{r_i}} - \varepsilon x_i^{*\frac{1}{r_i}} \right)^{2-r_i} \varepsilon^{r_i} d\theta_1 \\
&\quad + \sum_{i=2}^{n} \int_{(\xi_i + l_{i-1} x_{i-1})^{\frac{2-r_i-1}{r_i-1}}}^{x_i^{\frac{2-r_i-1}{r_i}}} \frac{2-r_i-1}{r_i} \times \left(\varepsilon^{r_i-1} \theta_2^{\frac{r_i-1}{2-r_i-1}} - (\varepsilon^{r_i-1}\xi_i + l_{i-1}\varepsilon^{r_{i-1}} x_{i-1}) \right) \times \varepsilon^{2-r_i-1} d\theta_2 \\
&= \varepsilon^2 W(X)
\end{aligned}
$$

Бұл дегеніміз W біртекті дәрежесі 2 екенін, Δбірге $\theta_1 = \epsilon^{-r_i}$және $\theta_2 = \epsilon^{r_i-2} s$болады. X анықтамасы бойынша тұйық жүйе (3) -(4) ретінде қайта жазуға болады:

$$
\begin{aligned}
\phi_{n+1,\sigma(t)} &= -l_1 \hat{x}_2^{p_{1,\sigma(t)}}, \\
\phi_{2n-1,\sigma(t)} &= -l_{n-1} \hat{x}_n^{p_{n-1,\sigma(t)}}
\end{aligned}
\tag{9}
$$

Орнықты $\alpha_k > 0$ болса, $\dot{W} = \dfrac{\partial W}{\partial X} F_k(X) \le -\alpha_k \|X\|^{2+\tau_k}$ (10)

Жүйеге арналған шығыс кері байланыс контроллерлерін жобалау.

(1) жүйеге арналған контроллерлер 1 лемма негізінде, біртекті үстемдік әдісін қолданып, келесі болжамдар ұсынылады:

Болжам 2. $(i,k) \in N \times \mathscr{M}$, әрқайсысы үшін тұрақты мәндер $c_k > 0$ және $\tau_k \in (-\frac{1}{1+\sum_{l-1}^{n-1}(p_{1,k}\cdots p_{l,k})}, 0)$, $\left|\phi_{i,k}(\cdot)\right|$болады. $\le c_k \left(\sum_{j=1}^{i} \left|n_j(t)\right|^{\frac{r_i+\tau_k}{r_j}} + \sum_{j=1}^{i} \left|\eta_j(t-d_j(t))\right|^{\frac{r_i+\tau_k}{r_j}} \right)$.

Келесі координаталардың өзгеруі енгізіледі.

$$
\begin{aligned}
x_i &= \frac{\eta_i}{\varpi_i}, \quad i \in N, \quad \text{және} \quad v_{\sigma(t)} = \frac{u_{\sigma(t)}}{\varpi_{n+1}}, \\
\varpi_i &= L_i^{q_{i,\sigma(t)}}, \quad i = 1, 2, \dots, n+1, \quad q_{1,\sigma(t)} = 0, \\
q_{i+1,\sigma(t)} &= \frac{q_{i,\sigma(t)} + 1}{p_{i,\sigma(t)}}, \quad 1 \le L_{1,\sigma(t)} \le L_{2,\sigma(t)} \le \cdots \le L_{n,\sigma(t)} \le L_{n+1,\sigma(t)}
\end{aligned}
\tag{11}
$$

Сәйкесінше (1) жүйе:

$$\begin{aligned}\dot{x}_i &= \bar{L}_{i,\sigma(t)} x_{i+1}^{p_{i,\sigma(t)}} + \frac{\phi_{i,\sigma(t)}(\cdot)}{\varpi_i}, \quad i \in N^-,\\ \dot{x}_n &= \bar{L}_{n,\sigma(t)} \nu_{\sigma(t)}^{p_{n,\sigma(t)}} + \frac{\phi_{n,\sigma(t)}(\cdot)}{\varpi_n},\\ y &= x_1\end{aligned} \tag{12}$$

мұнда $\bar{L}_{i,\sigma(t)} = L_{i+1,\sigma(t)}^{q_{i,\sigma(t)}+1} / L_{i,\sigma(t)}^{q_{i,\sigma(t)}}$. (5) қатынасты рекурсивті пайдалана отырып, келесі қорытынды жасауға болады:

$$\begin{aligned}&\tau_k \in \left(-\frac{1}{1+\sum_{l=1}^{n-1} p_{1,k}\cdots p_{l,k}}, 0 \right), \quad 1 < \frac{q_{2,k}}{r_2} \le \frac{q_{3,k}}{r_3} \le \cdots \le \frac{q_{n,k}}{r_n},\\ &\frac{q_{2,k}}{r_2} = \frac{1}{\tau_k + 1}, \quad \frac{q_{3,k}}{r_3} = \frac{1+p_{1,k}}{(1+p_{1,k})\tau_k + 1},\\ &\frac{q_{i,k}}{r_i} = \frac{1 + p_{1,k} + \cdots + p_{1,k}p_{2,k}\cdots p_{i-2,k}}{(1 + p_{1,k} + \cdots + p_{1,k}p_{2,k}\cdots p_{i-2,k})\tau_k + 1}, \quad i = 4, \ldots, n\end{aligned} \tag{13}$$

$L_{n,\sigma(t)} \le L_{n+1,\sigma(t)}$болса, (13) және (2) болжамы бойынша:

$$\begin{aligned}\left|\frac{\phi_{i,\sigma(t)}(\cdot)}{\varpi_i}\right| &\le \frac{c_k}{\varpi_i}\left(\sum_{j=1}^{i} |\varpi_j x_j|^{\frac{r_i+\tau_k}{r_j}} + \sum_{j=1}^{i} |\varpi_j x_j(t-d_j(t))|^{\frac{r_i+\tau_k}{r_j}}\right)\\ &\le c_k L_{i,k}^{q_{i,k}\frac{r_i-\tau_k}{r_i} - q_{i,k}} \times \left(\sum_{j=1}^{i} |x_j|^{\frac{r_i+\tau_k}{r_j}} + \sum_{j=1}^{i} |x_j(t-d_j(t))|^{\frac{r_i+\tau_k}{r_j}}\right)\\ &\le c_k \left(\sum_{j=1}^{i} |x_j|^{\frac{r_i+\tau_k}{r_j}} + \sum_{j=1}^{i} |x_j(t-d_j(t))|^{\frac{r_i+\tau_k}{r_j}}\right)\end{aligned} \tag{14}$$

$\bar{L}_{j,\sigma(t)}, j \in N$, 1 лемма ескере отырып, (12) жүйеге арналған біртекті контроллер төмендегідей болады:

$$\begin{aligned}\dot{\xi}_2 &= -\bar{L}_{1,\sigma(t)} l_1 \hat{x}_2^{p_{1,\sigma(t)}}, \quad \hat{x}_2 = (\xi_2 + l_1 x_1)^{\frac{r_2}{r_1}},\\ \dot{\xi}_i &= -\bar{L}_{i-1,\sigma(t)} l_{i-1} \hat{x}_i^{p_{i-1,\sigma(t)}},\\ \hat{x}_i &= (\xi_i + l_{i-1}\hat{x}_{i-1})^{\frac{r_i}{r_{i-1}}}, \quad i = 3, \ldots, n\end{aligned} \tag{15}$$

(4) және (11)-ді біріктірсек, (1) жүйеге арналған біртекті шығыс кері байланыс контроллері мыналар ретінде жобалануы мүмкін:

$$u_{\sigma(t)} = -L_{n+1,\sigma(t)}^{q_{n+1,\sigma(t)}} \beta_n \left(\hat{x}_n^{\frac{1}{r_n}} + \beta_{n-1}^{\frac{1}{r_n}} \left(\hat{x}_{n-1}^{\frac{1}{r_{n-1}}} + \cdots + \beta_2^{\frac{1}{r_3}} \left(\hat{x}_2^{\frac{1}{r_2}} + \beta_1^{\frac{1}{r_2}} x_1 \right) \ldots \right) \right)^{r_{n+1}} \tag{16}$$

Орнықтылықты талдау. Бұл мақаланың негізгі нәтижелерін келесі теорема ретінде қорытындылауға болады.

Теорема 1. Екінші болжам бойынша, уақыт кешігуі бар жоғары ретті коммутациялық сызықтық емес жүйе (1) үшін глобальды асимптотикалық орнықтандыру есебін шешуге болатындай біртекті шығыс кері байланыс контроллерлері бар.

Дәлелдеу: (9) формулаға сәйкес, тұйық циклді жүйе (12)–(15)–(4) келесідей қайта жазылуы мүмкін:

$$\dot{X} = diag(\bar{L}_{1,\sigma(t)}, \dots, \bar{L}_{n,\sigma(t)}, \bar{L}_{1,\sigma(t)}, \dots, \bar{L}_{n-1,\sigma(t)}) \times F_{\sigma(t)}(X) + \left(\frac{\phi_{1,\sigma(t)}(\cdot)}{\varpi_1}, \dots, \frac{\phi_{n,\sigma(t)}(\cdot)}{\varpi_n}, 0, \dots, 0 \right)^T \tag{17}$$

Уақыт кешігуін шешу үшін біз Ляпунов функциясына (6) негізделген Ляпунов-Красовский функционалын құрдық,

$$V(X) = W(X) + T(X),$$
$$T(X) = \sum_{i=1}^{n} \frac{\varsigma}{1+h_i} \int_{t-d_i(t)}^{t} \|X(s)\|_{\Delta}^{2+\tau_k} ds \tag{18}$$

мұндағы $\varsigma-$кейінірек анықталатын оң параметр, $W(X)$үздіксіз, оң анықталған және радиалды шектелмегендіктен, K_∞класының $\bar{\varphi}_1(\cdot)$, $\bar{\varphi}_2(\cdot)$екі функциясы бар, сондықтан

$$\bar{\varphi}_1(|X|) \le W(X) \le \varphi_2(|X|) \tag{19}$$

3-леммадан $\bar{c}$ және $\bar{c}$ екі оң тұрақты бар,

$$\bar{c}\|X\|_{\Delta}^{2+\tau_k} \le T(X) \le \bar{c}\|X\|_{\Delta}^{2+\tau_k}, \tag{20}$$

мұндағы $T(X)$ - біртекті дәрежесі $2 + \tau_k$болатын оң анықталған функция. Сол сияқты, келесі теңсіздік орындалады

$$\varphi_3(|X|) \le T(X) \le \varphi_4(|X|) \tag{21}$$

екі K_∞класының $\varphi_3(\cdot)$және $\varphi_4(\cdot)$функцияларымен , $d_i(t) : R^+ \to [0, d_i], \quad i \in N$, келесі түрде болады:

$$\begin{aligned}
\frac{\varsigma}{1+h_i} \int_{t-d_i(t)}^{t} \|X(s)\|_{\Delta}^{2+\tau_k} ds &\le \tilde{c}_i \int_{t-d_i}^{t} \varphi_{5,i}(|X(s)|)\, ds \\
&\le \tilde{c}_i \int_{-d_i}^{0} \varphi_{5,i}(X(\delta+t))\, d(\delta+t) \\
&\le \hat{c}_i \sup_{-d_i \le \delta \le 0} \varphi_{5,i}(|X(\delta+t)|) \\
&\le \varphi_{6,i}\left(\sup_{-d_i \le \delta \le 0} |X(\delta+t)| \right), \quad i \in N
\end{aligned}$$

мұнда $\varphi_{5,i}(\cdot)$және$\varphi_{6,i}(\cdot) - K_\infty$ функциялар, ал, $\tilde{c}_i$және $\tilde{c}_i, i \in N$ оң тұрақтылар болса,

$(|X| \le \sup_{-d \le \delta \le 0} |X(\delta+t)|$ және

екендігіне байланысты, $[\varphi_2(|X|) \le \varphi_2(\sup_{-d \le \delta \le 0} |X(\delta+t)|)$ және $\varphi_{6,i}\left(\sup_{-d_i \le \delta \le 0} |X(\delta+t)|\right) \le \varphi_{6,i}\left(\sup_{-d \le \delta \le 0} |X(\delta+t)|\right)$. Демек, $\bar{\varphi}_1(\cdot) = \varphi_2(\cdot) + \sum_{i=1}^{n} \varphi_{6,i}(\cdot)$ түрінде анықталатын K_∞класының функциясы,

$$\bar{\varphi}_1(|X|) \le V(X) \le \bar{\varphi}_1\left(\sup_{-d \le \delta \le 0} |X(\delta+t)| \right) \tag{22}$$

(9) және (10) теңдеулерін біріктіре отырып, тұйық цикл жүйесінің траекториясы бойынша $V(X)$ уақыт туындысын келесідей алуға болады

$$\dot{V}(X) \le -L\alpha_k \|X\|_{\Delta}^{2+\tau_k} + \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{\partial W}{\partial X_i} \frac{\phi_{i,\sigma(t)}(\cdot)}{\varpi_i} \right| + \sum_{i=1}^{n} \frac{\varsigma}{1+h_i} \|X\|_{\Delta}^{2+\tau_k} - \varsigma \sum_{i=1}^{n} \|X(t-d_i(t))\|_{\Delta}^{2+\tau_k} \qquad (23)$$

мұндағы $L = \min_{i\in\mathbb{N},k\in\mathscr{M}}\{\bar{L}_{i,k}\}$. Енді біз келесі терминді бағалаймыз: $\sum_{i=1}^{n} \left| \frac{\partial W}{\partial X_i} \frac{\phi_{i,\sigma(t)}(\cdot)}{\varpi_i} \right|$ (14)-тен $\frac{\phi_{i,\sigma(t)}(\cdot)}{\varpi_i}$-тің $\Delta-$ге қатысты $r_i + \tau_k$ дәрежесінде біртекті екенін табу жеңіл болады.

$\frac{dW}{dX_i}$-ге қатысты $2-r_i$ дәрежесінде біртекті екенін табу оңай, 3-леммадан сондықтан $\rho_{i,k}$ және $\bar{\rho}_{i,k}, i \in \mathbb{N}, k \in \mathscr{M}$ сияқты оң тұрақтылар бар.

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{\partial W}{\partial X_i} \frac{\phi_{i,\sigma(t)}(\cdot)}{\varpi_i} \right| &\le \sum_{i=1}^{n} \rho_{i,k} \|X\|_{\Delta}^{2+\tau_k} + \sum_{i=1}^{n} \bar{\rho}_{i,k} \|X(t-d_i(t))\|_{\Delta}^{2+\tau_k} \\ &\le \rho_k \|X\|_{\Delta}^{2+\tau_k} + \bar{\rho}_k \sum_{i=1}^{n} \|X(t-d_i(t))\|_{\Delta}^{2+\tau_k} \end{aligned} \qquad (24)$$

$\rho_k = \sum_{i=1}^{n} \rho_{i,k}$, және $\bar{\rho}_k = \max_{i\in\mathbb{N}}\{\bar{\rho}_{i,k}\}$. (24) теңдеуді (23) теңдеуге қойсақ, келесі нәтиже шығады:

$$\dot{V}(X) \le -\left(L\alpha_k - \rho_k - \sum_{i=1}^{n} \frac{S}{1+h_i} \right) \|X\|_{\Delta}^{2+\tau_k} - \left(\varsigma - \bar{\rho}_k\right) \sum_{i=1}^{n} \|X(t-d_i(t))\|_{\Delta}^{2+\tau_k} \qquad (25)$$

$\varsigma = \bar{\rho}_k$ және $\left\{ \frac{\rho_k + \sum_{i=1}^{n} \frac{\varsigma}{1+h_i}}{\alpha_k}, 1 \right\}$, онда (25)-тің оң жағы теріс анықталған. Демек, тұйық цикл жүйесі (1)–(15)–(16) кез келген ауысу кезінде глобальды асимптотикалық орнықты болып табылады.

Болжам 1. Әрбір $(i,k) \in N^{-} \times \mathscr{M}$, үшін оң тұрақты $\bar{c}_k > 0$ және бар, яғни $\tau_k \in \left(-\frac{1}{1+\sum_{l=1}^{n-1}(p_{1,k}\cdots p_{l,k})}, 0 \right)$, сәйкесінше $|\phi_{i,k}(\cdot)| \le \bar{c}_k \left(\sum_{j=i+2}^{n} |\eta_j|^{\frac{r_i+\tau_k}{r_j}} + \sum_{j=i+2}^{n} |\eta_j(t-d_j(t))|^{\frac{r_i+\tau_k}{r_j}} + |u_k|^{\frac{r_i+\tau_k}{r_{n+1}}} \right)$, мұнда $r_i's$ мәндері (5) теңдеуде анықталған.

Теорема 2. 1 болжамы бойынша, (1) жүйе үшін глобальды асимптотикалық орнықтандыру есебін біртекті шығыс кері байланыс контроллерлері арқылы шешуге болады.

Дәлелдеу. Бастапқыда біз (1) жүйеге координаталардың келесідей ортақ өзгерісін енгіземіз,

$$x_i = \frac{\eta_i}{\omega_i}, \quad i \in N, \quad \text{және} \quad v_{\sigma(t)} = \frac{u_{\sigma(t)}}{\omega_{n+1}} \qquad (26)$$

$$\begin{aligned}
&\omega_i = (\mu\varepsilon_{i,\sigma(t)})^{q_{i,\sigma(t)}}, \quad i = 1,2,\dots,n+1, \quad q_{1,\sigma(t)} = 0, \quad q_{i+1,\sigma(t)} = \frac{q_{i,\sigma(t)}+1}{p_{i,\sigma(t)}},\\
&\mu \in (0,1), \quad 1 > \varepsilon_{1,\sigma(t)} \geq \varepsilon_{2,\sigma(t)} \geq \dots \geq \varepsilon_{n,\sigma(t)} \geq \varepsilon_{n+1,\sigma(t)} > 0,\\
&\dot{x}_i = \mu\bar{\varepsilon}_{i,\sigma(t)} x_{i+1}^{p_{i,\sigma(t)}} + \frac{\phi_{i,\sigma(t)}(\cdot)}{\omega_i}, \quad i \in N^-,\\
&\dot{x}_n = \mu\bar{\varepsilon}_{n,\sigma(t)} u_{\sigma(t)}^{p_{n,\sigma(t)}},\\
&y = x_1
\end{aligned} \tag{27}$$

мұнда $\bar{\varepsilon}_{i,\sigma(t)} = \varepsilon_{i+1,\sigma(t)}^{q_{i,\sigma(t)}+1} / \varepsilon_{i,\sigma(t)}^{q_{i,\sigma(t)}}$. (4) және (26) теңдеулерін біріктіре отырып, біз (1) жүйе үшін біртекті шығыс кері байланыс контроллерлерін былайша жобалай аламыз:

$$\dot{\xi}_i = -\mu\bar{\varepsilon}_{i-1,\sigma(t)} l_{i-1} \hat{x}_i^{p_{i-1,\sigma(t)}}, \quad \hat{x}_i = (\xi_i + l_{i-1}\hat{x}_{i-1})^{\frac{r_i}{r_{i-1}}}, \quad i = 3,\dots,n \tag{28}$$

$$v_{\sigma(t)} = -(\mu\varepsilon_{n+1,\sigma(t)})^{q_{n+1,\sigma(t)}} \times \beta_n \left(\hat{x}_n^{\frac{1}{r_n}} + \beta_n^{\frac{1}{r_n}} (\hat{x}_{n-1}^{\frac{1}{r_{n-1}}} + \dots \quad + \beta_2^{\frac{1}{r_3}} (\hat{x}_2^{\frac{1}{r_2}} + \beta_1^{\frac{1}{r_2}} x_1) \dots) \right)^{r_{n+1}} \tag{29}$$

(9) негізінде, (27)–(28)–(4) тұйық циклді жүйесін былай тұжырымдауға болады

$$\dot{X} = \mu diag(\bar{\varepsilon}_{1,\sigma(t)},\dots,\bar{\varepsilon}_{n,\sigma(t)},\bar{\varepsilon}_{1,\sigma(t)},\dots,\bar{\varepsilon}_{n-1,\sigma(t)}) \times F_{\sigma(t)}(X) + \left(\frac{\phi_{1,\sigma(t)}(\cdot)}{\omega_1},\dots,\frac{\phi_{n-1,\sigma(t)}(\cdot)}{\omega_{n-1}},0,\dots,0 \right)^T \tag{30}$$

1 болжамы бойынша, біз (27) жүйе үшін (18) теңдеуінен сәл өзгеше Ляпунов-Красовский функционалын құрамыз,

$$\bar{V}(X) = W(X) + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\varsigma}{1+h_i} \int_{t-d_i(t)}^{t} \|X(s)\|_{\Delta}^{2+\tau_k} ds. \tag{31}$$

(22)-ге сәйкес, біз $\bar{\varepsilon}_{i,\sigma(t)} = \varepsilon_{i+1,\sigma(t)}^{q_{i,\sigma(t)}+1} / \varepsilon_{i,\sigma(t)}^{q_{i,\sigma(t)}}$. үздіксіз, оң анықталған және радиалды шектеусіз екенін дәлелдей аламыз. Сондықтан, (10)-мен біріктіріп, тұйықталған цикл траекториясы бойынша $\bar{V}(X)$ туындысын аламыз.

$$\dot{\bar{V}}(X) \leq -\mu\varepsilon\alpha_k \|X\|_{\Delta}^{2+\tau_k} + \sum_{i=1}^{n-1} \left| \frac{\partial W}{\partial X_i} \frac{\phi_{i,k}(\cdot)}{\omega_i} \right| + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\varsigma}{1+h_i} \|X\|_{\Delta}^{2+\tau_k} - \varsigma \sum_{i=1}^{n-1} \|X(t-d_i(t))\|_{\Delta}^{2+\tau_k}, \tag{32}$$

мұнда $\varepsilon = \min_{i\in\mathbb{N},k\in\mathscr{M}}\{\bar{\varepsilon}_{i,k}\}$. r_i және $q_{i,k}$анықтамаларынан $j = i+2,\dots,n+1$ деп қорытынды жасауға болады:

$$\frac{q_{j,k}}{r_j}(r_i+\tau_{i,k}) - q_{i,k} = \frac{q_{j,k}\tau_k + \frac{(1+p_{i,k}+\dots+p_{1,k}\cdots p_{j-2,k})-(1+p_{i,k}+\dots+p_{1,k}\cdots p_{i-2,k})}{(1+p_{i,k}+\dots+p_{1,k}\cdots p_{i-1,k})(1+p_{i,k}+\dots+p_{1,k}\cdots p_{j-1,k})}}{q_{j,k}\tau_k + \frac{1}{1+p_{i,k}+\dots+p_{1,k}\cdots p_{j-1,k}}} \tag{33}$$

$1 > \varepsilon_{1,\sigma(t)} \geq \varepsilon_{2,\sigma(t)} \geq \ldots \geq \varepsilon_{n,\sigma(t)} \geq \varepsilon_{n+1,\sigma(t)} > 0$ болғандықтан, (33) және 1 болжамынан мынаны алуға болады:

$$\begin{aligned}\left|\frac{\phi_{i,\sigma(t)}(\cdot)}{\omega_i}\right| &\leq \frac{\bar{c}_k}{\omega_i}\left(\sum_{j=i+2}^{n}|\omega_j x_j|^{\frac{r_i+\tau_k}{r_j}} + \sum_{j=i+2}^{n}|\omega_j x_j(t-d_j(t))|^{\frac{r_i+\tau_k}{r_j}} + |\omega_{n+1}\nu_k|^{\frac{r_i+\tau_k}{r_{n+1}}}\right)\\ &\leq \bar{c}_k\Bigg(\sum_{j=i+2}^{n}(\mu\varepsilon_{i,k})^{q_{j,k}}|x_j|^{\frac{r_i+\tau_k}{r_j}-q_{i,k}}\\ &\quad+\sum_{j=i+2}^{n}(\mu\varepsilon_{i,k})^{q_{j,k}}|x_j(t-d_j(t))|^{\frac{r_i+\tau_k}{r_j}-q_{i,k}}|x_j(t-d_j(t))|^{\frac{r_i+\tau_k}{r_j}}\\ &\quad+(\mu\varepsilon_{i,k})^{q_{n+1,k}}|\nu_k|^{\frac{r_i+\tau_k}{r_{n+1}}-q_{i,k}}|\nu_k|^{\frac{r_i+\tau_k}{r_{n+1}}}\Bigg)\\ &\leq \bar{c}_k(\mu\varepsilon_{i,k})^{1+\upsilon}\left(\sum_{j=i+2}^{n}|x_j|^{\frac{r_i+t_k}{r_j}} + \sum_{j=i+2}^{n}|x_j(t-d_j(t))|^{\frac{r_i+t_k}{r_j}} + |\upsilon_k|^{\frac{r_i+t_k}{r_{n+1}}}\right)\end{aligned} \tag{34}$$

мұнда $i \in N^-, \quad j = i+2, \ldots, n+1$үшін $\upsilon = \min_{k\in\mathcal{M}}\left\{q_{j,k}\frac{r_i+\tau_k}{r_j} - q_{i,k} - 1\right\} > 0$

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^{n-1}\left|\frac{\partial W}{\partial X_i}\frac{\phi_{i,\sigma(t)}(\cdot)}{\omega_i}\right| &\leq \sum_{i=1}^{n-1}\varrho_{i,k}\mu^{1+\upsilon}\|X\|_{\Delta}^{2+\tau_k} + \sum_{i=1}^{n-1}\bar{\varrho}_{i,k}\mu^{1+\upsilon}\|X(t-d_i(t))\|_{\Delta}^{2+\tau_k}\\ &\leq \varrho_k\mu^{1+\nu}\|X\|_{\Delta}^{2+\tau_k} + \bar{\varrho}_k\mu^{1+\nu}\sum_{i=1}^{n-1}\|X(t-d_i(t))\|_{\Delta}^{2+t_k}\end{aligned} \tag{35}$$

мұнда $\varrho_k = \sum_{i=1}^{n-1}\varrho_{i,k}, \bar{\varrho}_k = \max_{i\in\{1,\ldots,n-1\}}\{\bar{\varrho}_{i,k}\}$.

(10) және (30) теңдеулерін біріктіріп, (35) теңдеуін (32) теңдеуіне қойсақ, келесі нәтиже шығады:

$$\dot{V}(X) \leq -\left(\mu\varepsilon\alpha_k - \mu^{1+\nu}\varrho_k - \sum_{i=1}^{n-1}\frac{\varsigma}{1+w_i}\right)\|X\|_{\Delta}^{2+t_k} - \left(\varsigma - \mu^{1+\nu}\bar{\varrho}_k\right)\sum_{i=1}^{n-1}\|X(t-d_i(t))\|_{\Delta}^{2+t_k} \tag{36}$$

$\varsigma = \mu^{1+\nu}\bar{\varrho}_k$ болсын және (36) теңдеуінің оң жағы теріс анықталған болатындай кішкентай μ мәнін таңдалады, сонда тұйық цикл жүйесінің (1)–(28)–(29) кез келген коммутация кезінде глобальды асимптотикалық орнықты екендігі туралы қорытынды жасауға болады.

Нәтижелер және оларды талқылау. Ұсынылған тәсілдің ерекшеліктері мен артықшылықтарын көрсету мақсатында оны әдебиеттерде келтірілген [6,7] жұмыстардың нәтижелерімен салыстырдық. Аталған жұмыстарда уақыт кешігуі бар жоғары ретті сызықтық емес жүйелерді басқару мәселесі күй кері байланыс негізінде қарастырылса, бұл мақалада коммутациялық сызықтық емес жүйелер үшін глобальды шығыс кері байланысқа негізделген басқару заңы ұсынылады. Сонымен қатар, орнықтылықты талдау барысында Ляпунов-Красовский функционалы қолданылып, тұйық циклді жүйенің глобальды асимптотикалық орнықтылығы дәлелденді. Ұсынылған әдіс пен белгілі нәтижелердің негізгі айырмашылықтары 1-кестеде келтірілген.

1-кесте. Ұсынылған әдістің белгілі тәсілдерден айырмашылық кестесі

Сипаттама	[6,7] жұмыстары	Ұсынылған әдіс
Кері байланыс түрі	Күй кері байланыс	Шығыс кері байланыс
Уақыт кешігуі	Иә	Иә
Коммутациялық жүйе	Жоқ	Иә
Глобальды орнықтылық	Иә	Иә
Ляпунов-Красовский функционалы	Жоқ	Иә

Мысал 1. Келесі коммутациялық сызықтық емес жүйені қарастырсақ:

$$\begin{gathered}\dot{\eta}_1 = \eta_2^{p1,\sigma(t)} + \varphi_{1,\sigma}(t)\left(\bar{\eta}_1, \bar{\eta}_1\left(t - d_1(t)\right)\right), \\ \dot{\eta}_2 = u_{\sigma(t)}^{\rho 2,\sigma(t)} + \varphi 2,\sigma(t)\left(\eta, \eta\left(t - d_2(t)\right)\right), \\ y = \eta_1,\end{gathered}$$

мұндаσ(t) : $0,\infty) \to M = \{1,2\}$, $p_{1,1} = 1$, $p_{1,2} = \frac{7}{5}$, $p_{2,1} = 4, p_{2,2} = \frac{7}{5}$, $d_1(t) = \frac{\cos(t)+3}{5}$, $d_2(t) = \frac{\sin(t)+1}{2}$,

$$\varphi_{1,1}(\cdot) = \frac{3}{5}\eta_1^{\frac{2}{3}}\sin\left(\eta_1\right) + \left(\eta_1\left(t - d_1(t)\right)\right)^{\frac{2}{3}}, \varphi_{1,2}(\cdot) = \frac{1}{2}\eta_1^{\frac{14}{15}} + \frac{2}{9}\left(\eta_1\left(t - d_1(t)\right)\right)^{\frac{14}{15}},$$

$$\varphi_{2,1}(\cdot) = \eta_1^{\frac{1}{3}}\sin\left(\eta_2\right) + \eta_2^{\frac{1}{2}}\sin\left(\eta_1\right) + \frac{2}{11}\left(\eta_1\left(t - d_1(t)\right)\right)^{\frac{1}{3}} - \left(\eta 2\left(t - d_2(t)\right)\right)^{\frac{1}{2}},$$

$\tau_1 = -\frac{1}{3}, \tau_2 = -\frac{1}{15}, r_1 = 1, q_{1,1} = q_{1,2} = 0$, мұндағы $r_2 = \frac{2}{3}, r_3 = \frac{1}{9}, q_{2,1} = 1, q_{2,2} = \frac{5}{7}$таңдалса, $q_{3,1} = \frac{2}{3}$, $q_{3,2} = \frac{20}{21}$ және $\left|\varphi_{1,1}(\cdot)\right| \le \frac{3}{5}\left|\eta_1\right|^{\frac{2}{3}} + \left|\eta_1\left(t - d_1(t)\right)\right|^{\frac{2}{3}}$, $\left|\varphi_{2,1}(\cdot)\right| \le \left|\eta_1\right|^{\frac{1}{3}} + \left|\eta_2\right|^{\frac{1}{2}} + \frac{2}{11}\left|\eta_1\left(t - d_1(t)\right)\right|^{\frac{1}{3}} + \left|\eta_2(t - d_2(t))\right|^{\frac{1}{2}}, \left|\varphi_{2,2}(\cdot)\right| \le \left|\eta_1\right|^{\frac{3}{5}} + \left|\eta_2\right|^{\frac{9}{10}} + \left|\eta_1\left(t - d_1(t)\right)\right|^{\frac{3}{5}} + \frac{5}{9}\left|\eta_2(t - d_2(t))\right|^{\frac{9}{10}}$,

2 Болжамының орындалатыны анық, өзгеріс бойынша координаттардан (11) жүйе (37) түрінде болады

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= \bar{L}_{1,\sigma(t)}x_2^{p_{1,\sigma(t)}} + \frac{\phi_{1,\sigma(t)}(\cdot)}{\varpi_1}, \\ \dot{x}_2 &= \bar{L}_{2,\sigma(t)}\upsilon_{\sigma(t)}^{p_{2,\sigma(t)}} + \frac{\phi_{2,\sigma(t)}(\cdot)}{\varpi_2}, \\ y &= x_1\end{aligned} \tag{37}$$

мұнда $\varpi_i = L_{i,\sigma(t)}^{qi,\sigma(t)}$, $\bar{L}_{i,\sigma(t)} = L_{i+1,\sigma(t)}^{qi,\sigma(t)+1}/L_{i,\sigma(t)}^{qi,\sigma(t)}$ $i = 1,2.$

$$\begin{aligned}\dot{\xi}_2 &= \bar{L}_{1,\sigma(t)}l_1\hat{x}_2^{\rho_{1,\sigma(t)}}, \\ \hat{x}_2 &= \left(\xi_2 + l_1x_1\right)^{\frac{r_2}{r_1}}, \\ u_{\sigma(t)} &= -L_{3,\sigma(t)}^{q_{3,\sigma(t)}}\beta_2\left(\hat{x}_2^{\frac{1}{r_2}} + \beta_1^{\frac{1}{r_2}}x_1\right)^{r_3}\end{aligned} \tag{38}$$

Ұсынылған әдіс [6,7] жұмыстардағы күй кері байланысқа негізделген басқару заңдарынан ерекшеленеді. Аталған жұмыстарда басқару үшін жүйенің толық күй векторы қажет болса, ұсынылған әдісте тек шығыс сигналдары пайдаланылады. Сонымен қатар, бұл жұмыста уақыт кешігуі мен коммутацияланған сызықтық емес

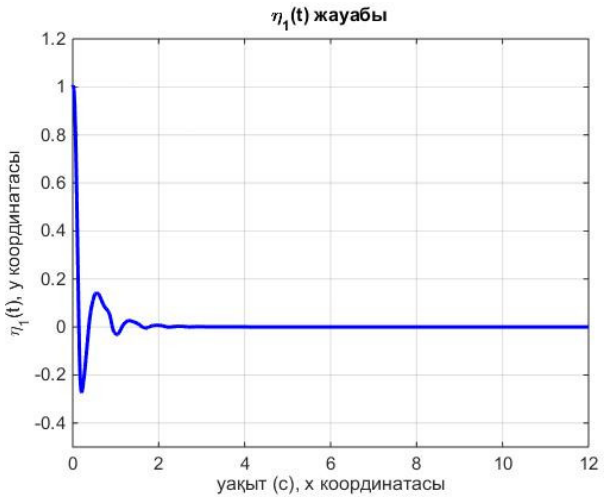
динамиканың бір мезгілде болуы ескеріліп, жүйенің глобальды асимптотикалық орнықтылығы дәлелденді.

Компьютерлік модельдеу MATLAB R2024b бағдарламалық ортасында жүргізілді. Уақыт кешігуі қатысқан жүйенің дифференциалдық теңдеулерін шешу үшін dde23 сандық интегралдау әдісі қолданылды. Компьютерде модельдеу үшін келесідей басқару айнымалыларының параметрлері таңдалады:

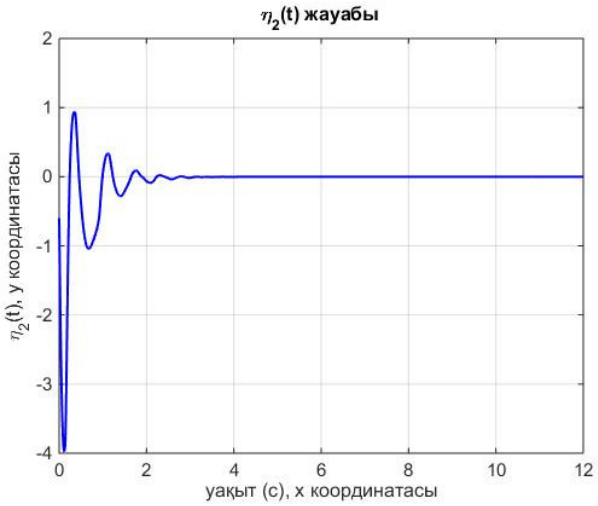
$\beta_1 = 2.7,\ \beta_2 = 1.8,\ l_1 = 14,\ L_{1,1} = 1.2,\ L_{1,2} = 1.07,\ L_{2,1} = 1.3,\ L_{2,2} = 1.2,\ L_{3,1} = 1.6,\ L_{3,2} = 1.36.\eta_1(0) = 1, \eta_2(0) = -0.6, \xi_2(0) = 0.$

Бастапқы шарттар осылай таңдалды, ал модельдеу ұзақтығы t=12 секунд деп қабылданды.

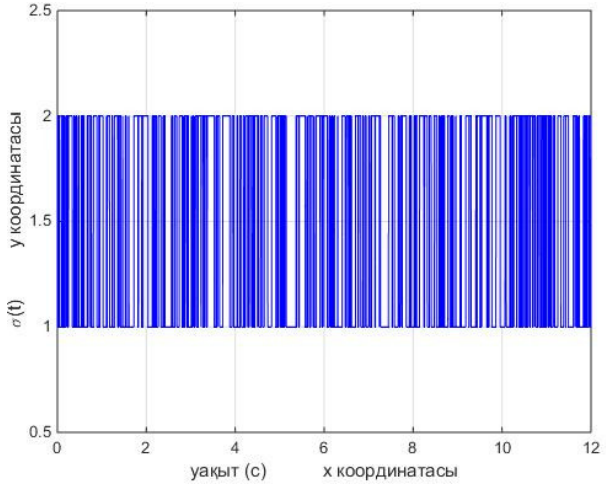
Төмендегі келтірілген суреттерден біздің мақалада қарастырып отырған ұсынылған әдістің тиімді екенін байқауға болады.



1-сурет. $_1$**(t) - жүйе күйінің жауабы**



2-сурет. $_2$**(t) - жүйе күйінің жауабы**



3-сурет. **(t)Коммутациялық сигналдың жауабы**

Мысал 2. Келесі жоғары ретті үшбұрышты коммутациялық сызықтық емес жүйені қарастырайық:

$$\dot{\eta}_1 = \eta_2^{p_{1,\sigma(t)}} + \phi_{1,\sigma(t)}(\eta, \eta(t-d_3(t)), u_{\sigma(t)}),$$

$$\dot{\eta}_2 = \eta_3^{p_{2,\sigma(t)}} + \phi_{2,\sigma(t)}(u_{\sigma(t)}),$$

$$\dot{\eta}_3 = u_{\sigma(t)}^{p_{2,\sigma(t)}},$$

$$y = \eta_1.$$

мұндағы $\sigma(t) : [0,\infty) \to M = \{1,2\}$, $p_{1,1} = 1$, $p_{1,2} = \frac{25}{21}$, $p_{2,1} = \frac{5}{3}$, $p_{2,2} = \frac{19}{9}$, $\frac{\sin(t)+1}{2}$, $\phi_{1,1}(\cdot) = \frac{3}{5}\eta_3^{\frac{7}{3}}\sin(u_1) + (\eta_3(t-d_3(t)))^{\frac{7}{3}} + u_1^7$, $\phi_{1,2}(\cdot) = \frac{1}{2}\eta_3^{\frac{25}{9}} + \frac{2}{9}(\eta_3(t-d_3(t)))^{\frac{25}{9}} + u_2$, $q_{3,1} = \frac{6}{5}$, $q_{3,2} = \frac{414}{475}$, $q_{4,1} = \frac{11}{5}$, $q_{4,2} = \frac{381}{475}$.

$$|\phi_{1,1}(\cdot)| \le \frac{3}{5}|\eta_3|^{\frac{8}{3}} + |\eta_3(t-d_3(t))|^{\frac{8}{3}} + |u_1|^7,$$
$$|\phi_{1,2}(\cdot)| \le \frac{1}{2}|\eta_3|^{\frac{25}{9}} + \frac{2}{9}|\eta_3(t-d_3(t))|^{\frac{25}{9}} + |u_2|^{\frac{25}{3}},$$
$$|\phi_{2,1}(\cdot)| \le \frac{2}{11}|u_1|^5,$$
$$|\phi_{2,2}(\cdot)| \le |u_2|^{\frac{19}{3}}.$$

Бұл анық, бірінші болжам орындалып, координаталарды түрлендіру арқылы, жүйе келесі түрге келтіріледі:

$$\dot{x}_1 = \mu\bar{L}_{1,\sigma(t)}x_2^{p_{1,\sigma(t)}} + \frac{\phi_{1,\sigma(t)}(\cdot)}{\varpi_1},$$

$$\dot{x}_2 = \mu\bar{L}_{2,\sigma(t)}x_3^{p_{2,\sigma(t)}} + \frac{\phi_{2,\sigma(t)}(\cdot)}{\varpi_2},$$

$$\dot{x}_3 = \mu\bar{L}_{3,\sigma(t)}\upsilon_{\sigma(t)}^{p_{3,\sigma(t)}},$$

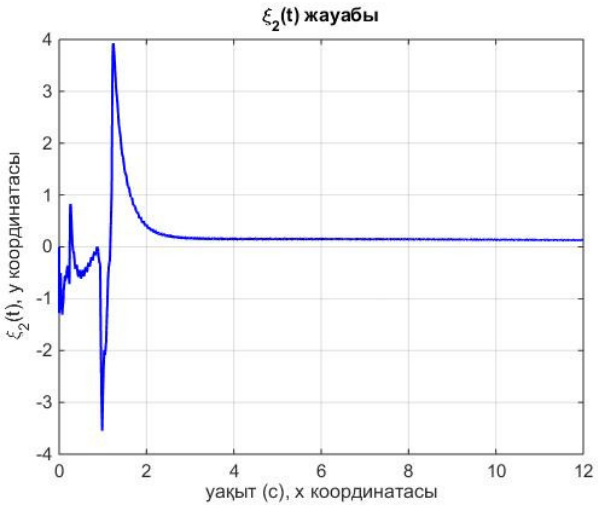
$$y = x_1,$$

$\varpi_i = (\mu L_{i,\sigma(t)})^{q_{i,\sigma(t)}}$, $\bar{L}_{i,\sigma(t)} = L_{i+1,\sigma(t)}^{q_{i,\sigma(t)}+1}/L_{i,\sigma(t)}^{q_{i,\sigma(t)}}$, i = 1,2,3. 2-теоремаға сәйкес, біз біртекті бақылаушы мен басқаруды аламыз: $\dot{\xi}_2 = -\mu\bar{\varepsilon}_{1,\sigma(t)}l_1\hat{x}_2^{p_{1,\sigma(t)}}$, $\hat{x}_2 = (\xi_2 + l_1x_1)^{\frac{r_2}{r_1}}$, $\dot{\xi}_3 = -\mu\bar{\varepsilon}_{2,\sigma(t)}l_2\hat{x}_3^{p_{2,\sigma(t)}}$, $\hat{x}_3 = \left(\xi_3 + l_2\hat{x}_2\right)^{\frac{r_3}{r_2}}$, $\upsilon_{\sigma(t)} = -(\mu\varepsilon_{4,\sigma(t)})^{q_{4,\sigma(t)}} \times \beta_3\left(\hat{x}_3^{\frac{1}{r_3}} + \beta_2^{\frac{1}{r_3}}(\hat{x}_2^{\frac{1}{r_2}} + \beta_1^{\frac{1}{r_2}}x_1)\right)^{r_4}$.

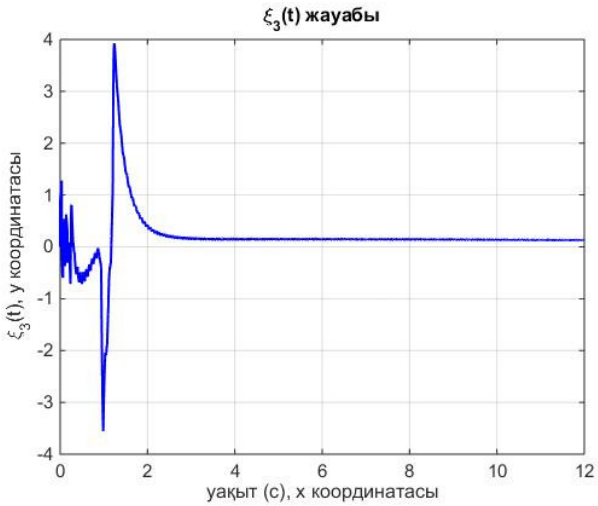
Компьютерде модельдеу үшін біз келесідей жобалау параметрлерін енгіземіз:

$\beta_1 = 2.5,\ \beta_2 = 1.8,\ l_1 = 13,\ L_{1,1} = 1.1,\ L_{1,2} = 1.05,\ L_{2,1} = 1.3,\ L_{2,2} = 1.2,\ L_{3,1} = 2.5,$

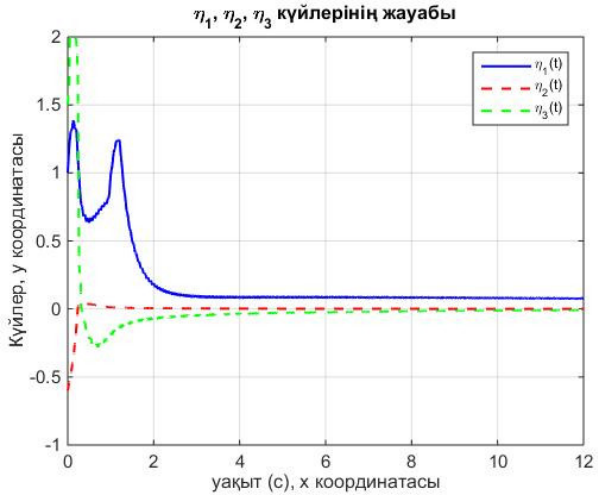
$$L_{3,2} = 1.4.(\eta_1(0) = 1), (\eta_2(0) = -0.6), (\eta_3(0) = 1.5), (\xi_2(0) = 0), (\xi_3(0) = 0),$$



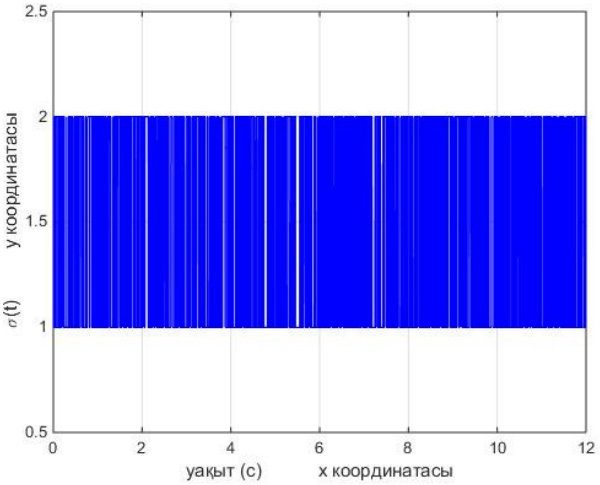
4-сурет. $_2$(t) **Контроллер күйінің жауабы**



5-сурет. $_3$(t) **Контроллер күйінің жауабы**



6-сурет. (t) **Жүйе күйлерінің жауабы**



7-сурет. (t) **Ауыспалы сигналдың нәтижесі**

Қорытынды. Бұл мақалада уақыт кешігуі бар жоғары ретті коммутациялық сызықтық емес жүйелер класы үшін глобальды асимптотикалық орнықтандыру мәселесі біртекті шығыс кері байланыс контроллерлерімен шешілді. Жүйелік қуаттағы коммутация сигналдары мен сызықтық емес туындаған қиындықтарды жеңу үшін, күйлерді бағалау үшін біртекті бақылаушыға ортақ координата өзгерісі енгізілді.

Біртекті үстемдік әдісіне және Ляпунов-Красовский функционалы, біртекті шығыс кері байланыс контроллерлеріне негізделген тұйық циклді жүйелерді орнықтандыру үшін жобаланды. Сонымен қатар, біз ұсынылған схеманы уақыт бойынша өзгеретін уақыт кешігуі бар жоғары ретті коммутациялық жоғары үшбұрышты сызықтық емес жүйелер класын орнықтандыру үшін кеңейттік. Ұсынылған жобалау әдістерінің тиімділігін көрсету үшін екі сандық мысал қолданылды. Болашақта біз орташа күту уақыты бар жалпы уақыт кешігуі бар коммутацияланған сызықтық емес жүйелер класы, белгіленген өнімділігі бар уақыт кешігуі және күй шектеулері бар коммутацияланған сызықтық емес жүйелер үшін шығыс кері байланыс контроллерін жасаймыз. Ұсынылған басқару алгоритмі энергетикалық жүйелерде, желілік басқару жүйелерінде және уақыт кешігуі бар өнеркәсіптік объектілерде қолданылуы мүмкін. Алы-

нған басқару моделі нақты параметрлері белгілі жоғары ретті коммутациялық жүйелер үшін басқару құрылғыларын жобалау кезінде пайдаланылуы мүмкін.

Әдебиеттер

1. Sun K. M., Mou S., Qiu J., Wang T., Gao H. Adaptive fuzzy control for nontriangular structural stochastic switched nonlinear systems with full state constraints // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. - 2018. - Vol. 27, No.8. - P.1587-1601. DOI 10.1109/TFUZZ.2018.2883374.

2. Jia Y., Wang J., Cui D. Switching delay effects on input-to-state stability of switched systems // Discrete Dynamics in Nature and Society. - 2023. - Vol.2023(1). - Article ID 2789626. DOI 10.1155/2023/2789626.

3. Sun J., Wang H. Stability analysis for highly nonlinear switched stochastic systems with time-varying delays // Complex Engineering Systems. - 2022. - Vol.2:17/ DOI 10.20517/ces.2022.48.

4. Hua C. C., Wang Q. G., Guan X. P. Adaptive tracking controller design of nonlinear systems with time delays and unknown dead-zone input // IEEE Transactions on Automatic Control. - 2008. - Vol.53(7). - P. 1753–1759. DOI 10.1109/TAC.2008.928324.

5. Liu C., Liu X. Stability of switched systems with time-varying delays under state-dependent switching // Mathematics. - 2022. - Vol.10(15): 2722. DOI 10.3390/math10152722.

6. Alimhan K., et al. Output tracking by state feedback for high order nonlinear systems with time-delay // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. - 2019. - Vol.97, Issue 3. - P.942–956. DOI 10.1080/23311916.2020.1711676

7. Alimhan K., et al. Global output tracking by state feedback for high-order nonlinear systems with time-varying delays //Cogent Engineering. - 2020. - Vol.7(1): 1711676. DOI 10.1080/23311916.2020.1711676.

8. Huang S., et al. Finite-time stabilization of a class of upper-triangular switched nonlinear systems // Journal of the Franklin Institute. - 2019. - Vol.356(6). - P.3398-3418. DOI 10.1016/j.jfranklin.2018.12.021.

9. Zhou B., Yang X. Global stabilization of feedforward nonlinear time-delay systems by bounded controls //Automatica. - 2018. - Vol.88. - P.21-30. DOI 10.1016/j.automatica.2017.10.021.

10. Hua C., Liu G., Li L., Guan X. Adaptive fuzzy prescribed performance control for nonlinear switched time-delay systems with unmodeled dynamics // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. - 2018. - Vol.26(4). - P.1934-1945. DOI 10.1109/TFUZZ.2017.2756028.

11. Mao J., Ahn C. K., Xiang Z. Global stabilization for a class of switched nonlinear time-delay systems via sampled-data output-feedback control // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems. - 2021. - Vol.52(2). - P.694-705. DOI 10.1109/TSMC.2020.3048064.

12. Zhai J., Song Z. Global finite-time stabilization for a class of switched nonlinear systems via output feedback // International Journal of Control, Automation and Systems. - 2017. - Vol.15(5). - P. 1975-1982. DOI 10.1007/s12555-016-0490-z.

13. Zhai J., Song Z., Karimi H. R. Global finite-time control for a class of switched nonlinear systems with different powers via output feedback // International Journal of Systems Science. - 2018. - Vol. 49(3). - P.2776-2783. DOI 10.1080/00207721.2018.1512679.

Авторлар туралы мәліметтер

Бахадирова Г.Б. - PhD, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: gulnaz.bahadirova.84@mail.ru;

Тасболатұлы Н. - PhD, қауымдастырылған профессор, Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: tasbolatuly@gmail.com;

Баумуратова Д.Б - PhD, Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: Baumuratova.d@gmail.com;

Әлімхан Қ.- PhD, профессор, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: keylan@live.jp;

Тураев Ш. - PhD, қауымдастырылған профессор, Ақпараттық технологиялар колледжі, Біріккен Араб Әмірліктері университеті, Әл-Айн, Біріккен Араб Әмірліктері, e-mail: sherzod@uaeu.ac.ae.

Information about the authors

Bakhadirova G.B. - PhD, S. Seifullin Kazakh agrotechnical research university, Astana, Kazakhstan, e-mail: gulnaz.bahadirova.84@mail.ru;

Tasbolatuly N.- PhD, Associate Professor, Astana International University, Astana, Kazakhstan, e-mail: tasbolatuly@gmail.com;

Baumuratova D.B. - PhD, Astana International University, Astana, Kazakhstan, e-mail: Baumuratova.d@gmail.com;

Alimhan K. - PhD, Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: keylan@live.jp;

Turaev Sh. - PhD, Associate Professor. College of Information Technology, United Arab mirates University, Al Ain, United Arab Emirates, e-mail: sherzod@uaeu.ac.ae.

IRSTI 50.47.29 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1508**

AUTOMATION OF SELECTIVE LASER MELTING (SLM) PARAMETERS CONTROL BASED ON COMPUTER ANALYSIS OF THE GRANULOMETRIC COMPOSITION OF METAL POWDERS

[1]A.D. Tulegulov✉, [1]A.M. Jumagaliyeva, [1]M.Sh. Nurmagambetov, [1]B.O. Sataev, [2]I. Dyussebayev, [1]B.E. Sattykova, [1]Zh. Taishygara

[1]K. Kulazhanova Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
[2]K. Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan

✉ *Corresponding author: tad62@ya.ru*

The development of the 3D printing industry requires new approaches in terms of choosing materials for the production of products. A special place in this issue is occupied by the choice of metal powders. If at the initial stage of development, it was mainly about plastic as the main type of material for 3D printing, then recently metal powder printing has become more relevant. This is especially true in cases of small-scale production. As you know, there are consumer goods and in such cases their production is carried out in large factories and factories. However, there are areas of production where it is necessary to establish the production of products in small quantities and for special purposes.

There is also the problem of producing metal powders. Currently, our country does not produce metal powders. Metal powders are purchased in foreign countries. The price of 1 kilogram of metal powder reaches 200,000 tenge. At the same time, our country has huge reserves of raw materials in the form of man-made waste from the mining and metallurgical industries. These wastes can be used to produce metal powders with various compositions and properties. In the process of manufacturing parts and assemblies, it is possible to replace expensive imported metal powders with inexpensive metal powder of domestic production.

In the article, the aim of the research is to identify the optimal powder composition by automating the process of conducting scientific experiments with different powder compositions.

At the same time, the following tasks were solved:

- based on the results obtained, conducting a comparative analysis of the qualitative composition of the powder;

- automate technologies for producing metal powder with pre-defined properties to obtain the required parameters of parts and assemblies.

Keywords: algorithm, additive technologies, software codes, computer modeling, neural network, layer-by-layer synthesis.

МЕТАЛЛ ҰНТАҚТАРЫНЫҢ ГРАНУЛОМЕТРИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫН КОМПЬЮТЕРЛІК ТАЛДАУ НЕГІЗІНДЕ ТАҢДАУЛЫ ЛАЗЕРЛІК БАЛҚЫТУДЫҢ (SLM) ПАРАМЕТРЛЕРІН БАСҚАРУДЫ АВТОМАТТАНДЫРУ

[1]А.Д. Тулегулов✉, [1]А.М. Джумагалиева, [1]М.Ш. Нурмагамбетов, [1]Б.О. Сатаев, [2]И. Дюсебаев, [1]Б.Е. Саттыкова, [1]Ж. Тайшығара

[1]Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[2]Қ. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан,
e-mail: tad62@ya.ru

3D басып шығару индустриясын дамыту өнімдерді өндіру үшін материалдарды таңдау тұрғысынан жаңа тәсілдерді қажет етеді. Бұл мәселеде металл ұнтақтарын таңдау ерекше орын алады. Егер дамудың бастапқы кезеңінде негізінен 3D басып шығаруға арналған материалдың негізгі түрі ретінде пластик туралы болса, онда соңғы уақытта металл ұнтақтарымен басып шығару өзекті бола бастады. Бұл әсіресе шағын өндіріс жағдайларына қатысты. Өздеріңіз білетіндей, кең тұтыну

тауарлары бар және мұндай жағдайларда оларды өндіру ірі зауыттар мен зауыттарда жүзеге асырылады. Алайда, аз мөлшерде және арнайы мақсаттағы өнім шығаруды жолға қою қажет өндіріс салалары бар.

Металл ұнтақтарын алу мәселесі де бар. Қазіргі уақытта біздің елде металл ұнтақтары өндірілмейді. Металл ұнтақтары шет елдерде сатып алынады.1 килограмм металл ұнтағының бағасы 200 000 теңгеге жетеді. Сонымен қатар, біздің елімізде тау-кен және металлургия салаларының техногендік қалдықтары түріндегі шикізаттың орасан зор қоры бар. Бұл қалдықтарды әртүрлі құрамы мен қасиеттері бар металл ұнтақтарын алу үшін пайдалануға болады. Бөлшектер мен тораптарды дайындау процесінде қымбат импортталған металл ұнтақтарын отандық өндірістің арзан металл ұнтағына ауыстыруға болады. Мақалада Зерттеудің мақсаты ұнтақтың оңтайлы құрамын анықтау болып табылады процесті автоматтандыру ұнтақтардың әртүрлі құрамдарымен ғылыми эксперименттер жүргізу. Бұл ретте келесі міндеттер шешілді:

- алынған нәтижелер бойынша ұнтақтың сапалық құрамына салыстырмалы талдау жүргізу;

- бөлшектер мен тораптардың қажетті параметрлерін алу үшін алдын ала белгіленген қасиеттері бар металл ұнтағын алу технологияларын автоматтандыру.

Түйін сөздер: алгоритм, аддитивті технологиялар, бағдарламалық код, компьютерлік модельдеу, нейрондық желі, соңғы синтез.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ (SLM) НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

[1]А.Д. Тулегулов✉, [1]А.М. Джумагалиева, [1]М.Ш. Нурмагамбетов, [1]Б.О. Сатаев, [2]И. Дюсебаев, [1]Б.Е. Саттыкова, [1]Ж. Тайшығара

[1]Казахский университет технологии и бизнеса им. Кулажанова, Астана, Казахстан,
[2]Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. Сатпаева, Алматы, Казахстан,
e-mail: tad62@ya.ru

Развитие индустрии 3Д принтинга требует новых подходов в плане выбора материалов для производства изделий. Особое место в этом вопросе занимает выбор металлических порошков. Если на начальном этапе развития в основном речь шла о пластике как основном виде материала для 3Д печати, то в последнее время более актуальным становится печать металлическими порошками. Особенно это касается случаев мелкосерийного производства. Как известно существуют товары широкого потребления и в таких случаях их производство осуществляется на крупных заводах и фабриках. Однако есть сферы производства, где необходимо наладить выпуск продукции в небольших количествах и особого назначения.

Также существует проблема получения металлических порошков. В настоящее время в нашей стране не производят металлические порошки. Металлические порошки закупаются в зарубежных странах. Цена 1 килограмма металлического порошка достигает 200 000 тенге. В тоже время наша страна обладает огромными запасами сырья в виде техногенных отходов горнодобывающей и металлургической отраслей. Эти отходы можно использовать для получения металлических порошков с различными составами и свойствами. В процессе изготовления деталей и узлов можно заменить дорогостоящий импортный металлический порошков на недорогой металлический порошок отечественного производства.

В статье целью исследования является выявление оптимального состава порошка посредством автоматизации процесса проведение научных экспериментов с различными составами порошков.

При этом решались следующие задачи:

- по полученным результатам проведение сравнительного анализа качественного состава порошка;

- автоматизировать технологии получения металлического порошка с заранее заданными свойствами для получения требуемых параметров деталей и узлов.

Ключевые слова: алгоритм, аддитивные технологии, программный код, компьютерное моделирование, нейронная сеть, послойный синтез.

Introduction. Developing a new product type is a long and time-consuming process that requires several stages of design and evaluation before mass production begins. The methods of 3-dimensional computer modeling that are being implemented all over the world help to dramatically speed up the passage of these stages. Modern computer-aided design (CAD) systems can also significantly reduce the time and money spent on developing and designing new products [1-2]. However, the problem of producing the first physical image and even a single part for a product of any complex shape remains the most challenging area, as developing the manufacturing technology and associated tooling often requires costs comparable to the development of the product itself. Figures 1 and 2 show a laboratory test rig (prototype) for testing computer vision algorithms and calibrating optical inspection channels.

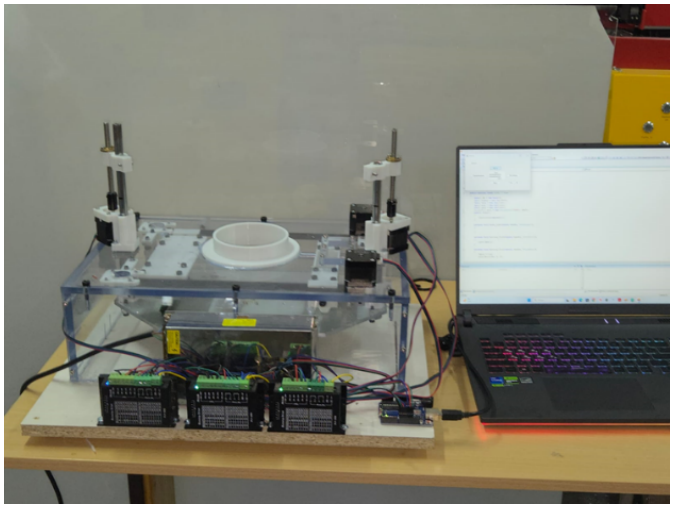


Fig.1 - Experimental setup

In the process of working on a project, especially at the stage of complex design, it is difficult to identify various errors and shortcomings only on the display screen. Having a real physical model of the future product, you can detect and eliminate various errors, adjust the ways to continue the design process. The product prototype can be used as a conceptual model for visualizing and analyzing the design. It allows you to perform improvements and perform some functional tests, and can also serve as a master model for making tooling. In addition, the prototype can be used for marketing purposes or in determining the cost of manufacturing [3-4].

Materials and methods. Layer-by-layer synthesis involves the construction in an inert gas environment with cooling of certain zones, with local metal shrinkage, with the capture of ambient gas molecules (nitrogen or argon), with the formation of defects caused by laser operation, inhomogeneity of the model material [5-7]. When using AF technologies, all stages of project implementation from idea to materialization (in any form, intermediate or finished product) are located in a ”friendly” technological environment,

in a single technological chain, where each technological operation is also performed in a digital CAD/CAM / CAE system. (Fig.2)

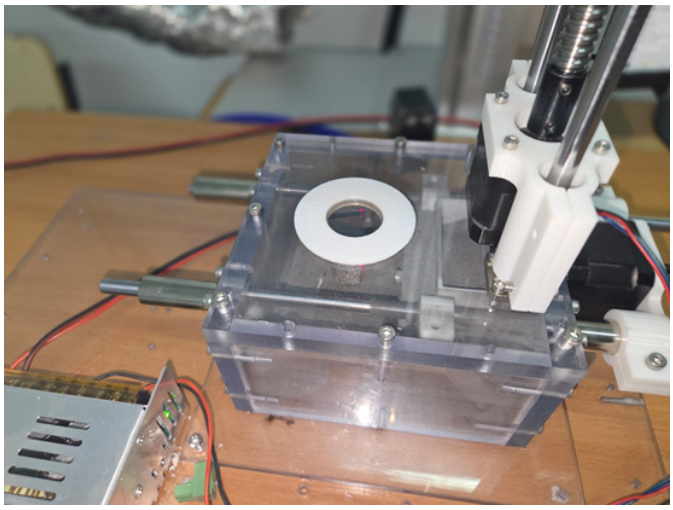


Fig. 2- Product prototype

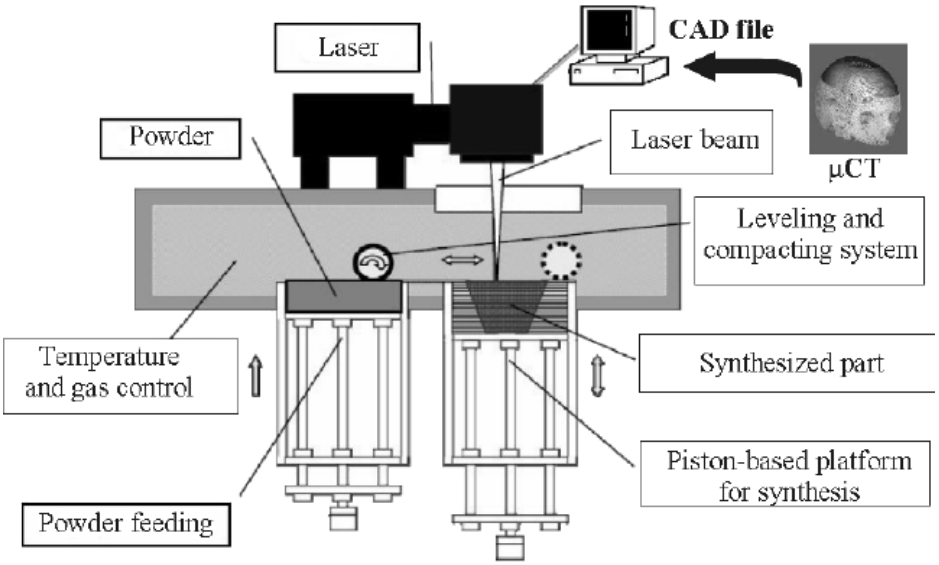


Fig.3 - SLM schematic diagram

The camera itself and the particle recognition algorithm were tested on the prototype. Halogen illumination was used.

The essence of SLM (selective laser melting) technology is as follows (Fig.3): thin layers of high-quality metal powder, ceramics, polymer with a grain size of 10 ...40 microns are evenly distributed using a special coating mechanism, forming a layer with a thickness of 20 ...40 microns, the platform on which the powder is located can be lowered vertically. The entire process takes place inside the chamber, which maintains strict control of atmospheric inert gases (argon, nitrogen, oxygen). Each layer is then formed by selectively exposing the powder surface to lasers using two high-frequency scanners [8-9]. This creates a 2D cross-section of the model. SLM technology uses high-power pulsed lasers (usually YAG-fiber lasers

(1064 nm, 1070 nm)) − 0.05....1 kW.

Laser melting uses the same installations and procedures as in the SLS process. The only difference is that the SLM process completely melts the powder. This significantly improves the microstructure and product characteristics compared to DMLS. The density of 99.99% for metal products is achievable without subsequent heat treatment, and their characteristics are comparable to those of parts obtained by mechanical processing.

The military-industrial complex has shown an increased interest in AF technologies since their introduction; the ability to eliminate many constraints on the path from project to production allows you to implement solutions that increase efficiency and reduce the weight of parts. Moreover, by its very nature, this market requires small-scale production of high-quality parts, so getting rid of tools, including unique special equipment offered by AF technologies, brings significant benefits [10].

However, the main problem of introducing these technologies into the production process of manufacturing products for the military-industrial complex is their certification, since the physical and mechanical characteristics, stability of these characteristics, and surface quality of parts manufactured using additive technologies are subject to strict requirements that are not always possible to fulfill.

Currently, there are no general requirements for metal-powder compositions used in additive technologies. Different manufacturing companies recommend working with the material supplied by the company itself. Weanalyzed the results of experimental studies of layer-by-layer formation of three-dimensional objects by the SLM method, on the basis of which it was found that the use of inexpensive metal powders, the granules of which have an arbitrary shape during 3D printing, violates the packing density of granules and at the focus point of laser energy, bulk shrinkage and uneven fusion of metal powder appear, which reduces the quality of the printed part.

Results and discussions. Different machines use powders of different fractional compositions. One of the parameters that characterizes the powder is the average particle diameter d50. For example, d50 = 40 microns means that 50% of the powder particles have a particle size less than or equal to 40 microns. So, for example, Phenix Systems machines use powder with d50 = 10 microns; for Conzept Laser machines, the powder dispersion is in the range of 25 ...52 microns at d50 = 26.9 microns; for Arcam machines, the particle size is 45...100 microns, for SLM Solutions machines, d50 = 10-30, etc.

In the process of laser synthesis, for example, using SLM technology, when building a part, the laser beam not only fuses powder particles to form the part body, but also ”spoils” the material directly adjacent to the surface of the part under construction. Therefore, in the practice of working with SLS machines, methods of sieving waste material are used to remove the ”defective” part with further mixing of the ”used” powder with fresh one. Since mixing proportions are set by each company, the identity of samples built on the same machine and from the same powder is not guaranteed.

There are quite a lot of varieties of metal-powder compositions. These include the following:

Al-Ni-Co, Fe-Nd-B - magnet production

Aluminum Bronze - ship screws

Al-Si-Mg - with heat-resistant structure

Al-Sn-Cu - sliding bearings

Al- alloys with high thermal strength

Bi-Te - Devices using the Peltier effect

Cr-Al - protective coatings

Co-Cr - alloys for dental prosthetics

Cu-Ba, Cu-Y – superconductors

Cu-Cr-Zr - beryllium-free electrical conductors

Cu-In-Ga-Selenide - photovoltaic materials

Cu-Mn-Ni, Cu-Ti-Sn - Cutting tool

We conducted experiments with different powder compositions and based on the results obtained, we conducted a comparative analysis of the qualitative composition of the powder to obtain the required

parameters of parts and assemblies. Determination of the composition of metal powders includes particle size analysis and chemical analysis. Figure 4 shows the program code inPython.

```
import cv2
import numpy as np
# Uploading a powder micrograph image
image = cv2.imread(”powder_sample.jpg”)
# Image processing to improve contrast and search for particles
# Apply blur to reduce noise
blurred = cv2.GaussianBlur(image, (5, 5), 0)
# Binarization (converting to black and white)
_, thresh = cv2.threshold(
    cv2.cvtColor(blurred, cv2.COLOR_BGR2GRAY),
    0,
    255,
    cv2.THRESH_BINARY + cv2.THRESH_OTSU,
)
# Search for particle contours
contours, _ = cv2.findContours(
    thresh,
    cv2.RETR_EXTERNAL,
    cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE,
)
# Particle size analysis
particle_sizes = []
for cnt in contours:
    # Avoid making noise that is too small
    if cv2.contourArea(cnt) > 10:
        # Calculation of the equivalent diameter (area of the circle)
        area = cv2.contourArea(cnt)
        diameter = 2 * np.sqrt(area / np.pi)
        particle_sizes.append(diameter)
if particle_sizes:
    print(f”Total particles: {len(particle_sizes)}”)
    print(f”Average diameter: {np.mean(particle_sizes):.2f} pixels”)
    print(f”Median diameter: {np.median(particle_sizes):.2f} pixels”)
else:
    print(”No particles found.”)
# Optional: Visualization of results
cv2.drawContours(image, contours, -1, (0, 255, 0), 2)
cv2.imshow(”Particles”, image)
cv2.waitKey(0)
cv2.destroyAllWindows()
```

Fig.4 - Python program code

Conclusion. As a result of the work, an algorithm for optical-digital analysis of the geometry of microparticles of powder composites was developed, which allows for the determination of the average diameter of fractions in the range of 10-50 μm with an error of no more than 3.5%. This

ensures automated express control of raw materials before loading into the SLM chamber.

In conclusion, we can note that as a result of our research, we were able to experimentally identify the optimal composition of the powder. It is worth noting that the powder composition obtained by us is 90 percent composed of inexpensive materials. Moreover, industrial waste from the mining industry is used as raw materials. In the end, this will significantly reduce the cost of the products received and reduce the share of dependence on foreign suppliers. Thus, we increase the percentage of domestic product.

It is also worth noting that the process of identifying the optimal powder composition was fully automated, which allowed us to significantly increase the speed of processing the results obtained and reduce the time for obtaining results.

Foundation. *This study is funded by the committee on science and higher education (No. AR23490424 ”development of an additive installation for the manufacture of metal objects for the defense industry”.)*

References

1. Adem Ben Hammouda, Ahmed Frikha, Sana Koubaa, Hatem Mrad. Defect detection in additive manufacturing using image processing techniques //Procedia Computer Science. - Vol.232.- 2024.- P.2157-2166. DOI 10.1016/j.procs.2024.02.035.

2. Hao-ze Yu, Wei Li, Dong Li, Li-Jun Wang, Yong Wang. Enhancing additive manufacturing with computer vision: a comprehensive review//The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. -2024.-Vol.132(11-12). -P.1-19. DOI 10.1007/s00170-024-13689-3.

3. Musaddiq Al Ali, Masatoshi Shimoda, Marc Naguib. Optimizing Additive Manufacturing with Computer Vision to Enhance Material Efficiency and Structural Stability. - Posted Date: 13 August 2024. DOI 10.20944/preprints202408.0893.v1.

4. Ali MA, Shimoda M, Naguib M. Optimizing Additive Manufacturing with Computer Vision to Enhance Material Efficiency and Structural Stability. 13 Aug 2024. DOI 10.20944/preprints202408.0893.v1.

5. Aliaksei Petsiuk, Joshua Pearce. Open Source Computer Vision-based Layer-wise 3D Printing Analysis// Additive Manufacturing. - 2020. -Vol.36:101473. DOI 10.1016/J.ADDMA.2020.101473.

6. Muhammad Ali Musarat, Ruben Paul Borg, Carl James Debono and Kamal Khayat. Computer Vision and Machine Learning Approaches for Defect Detection in 3D-Printed Cementitious Materials: A Systematic Review// Infrastructures. -2026.-Vol.11(5):159. DOI 10.3390/infrastructures11050159.

7. G. Schuh, G. Lukas, S. Hohenstein, J.M. Schäfer J.L. Drescher. Part Recognition in Additive Production Systems using a Computer-vision Approach. - 2022 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 26 December 2022. DOI 10.1109/IEEM55944.2022.9989875

8. Wei Wang, Peiren Wang, Hanzhong Zhang, Xiaoyi Chen, Guoqi Wang, Yang Lu, Min Chen, Haiyun Liu, Ji Li. A Real-Time Defect Detection Strategy for Additive Manufacturing Processes Based on Deep Learning and Machine Vision Technologies//Micromachines. -2024.-Vol.15(1):28. DOI 10.3390/mi15010028.

9. Devin J. Roach, Andrew Rohskopf, Craig M. Hamel, William D. Reinholtz, Robert Bernstein, H. Jerry Qi1, Adam W. Cook. Utilizing Computer Vision and Artificial Intelligence Algorithms to Predict and Design the Mechanical Compression Response of Direct Ink Write 3D Printed Replacement Structures. Version of Record// Additive Manufacturing. -2021.-Vol.41:101950. DOI 10.1016/j.addma.2021.101950.

10. Nascimento, Rui; Martins, Isabel; Dutra, Thiago Assis. Computer Vision Based Quality Control for

Additive Manufacturing Parts//International Journal of Advanced Manufacturing Technology. -2023.-Vol.124(10):3241. DOI 10.1007/s00170-022-10683-5.

Information about the authors

Tulegulov A.D. - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: tad62@ya.ru;

Jumagalieva A.M. - Master' s degree, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: jumagalievaainur.m@gmail.com;

Nurmagambetov M.Sh. - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: Nurmag@mail.ru;

Satayev B.O. - Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: Bsat@mail.ru;

Dyussebayev I. - PhD, K. Satpayev Kazakh National Research University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: Nomad.i.m.13@mail.ru;

Sattykova B.E. - Master' s degree, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: banusattikovaaa@gmail.com;

Taishygara Zh. - Master' s degree, assistant, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: tzhanibek123@mai.ru.

Сведения об авторах

Тулегулов А.Д. - кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: tad62@ya.ru;

Джумагалиева А. М. - магистр, старший преподаватель, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: Jumagalievaainur.m@gmail.com;

Нурмагамбетов М.Ш. - кандидат с-х. наук, ассоциированный профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: Nurmag@mail.ru;

Сатаев Б.О. - кандидат технических наук, ассистент профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: Bsat@mail.ru;

Дюсебаев И. - доктор PhD, Казахский национальный исследовательский университет им. К. Сатпаева, Алматы, Казахстан, Nomad13@mail.ru;

Саттыкова Б. Е. - магистр, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: banusattikovaaa@gmail.com;

Тайшығара Ж. - магистр, ассистент, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: tzhanibek123@mail.ru.

МРНТИ 61.13.21 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1431**

БАТЫС ҚАЗАҚСТАННЫҢ МИНЕРАЛДЫҚ ЖӘНЕ КӨМІРСУТЕКТІ ШИКІЗАТЫ НЕГІЗІНДЕ КАТАЛИЗАТОРЛАР ӘЗІРЛЕУ

[1]Р.И. Джусупкалиева✉, [1]Н.М. Жумагалиева, [1]А.Б. Кыдрашов, [2]С.И. Помогайло, [2]В.Н. Борщ, [2]Е.В. Пугачева, [3]А.В. Рухов

[1]«Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КеАҚ, Орал Қазақстан,
[2]А.Г. Мерзханов атындағы Құрылымдық макрокинетика және материалтану мәселелері институты, Ресей Ғылым академиясы, Москва, Ресей,
[3]Тамбов мемлекеттік технологиялық университеті, Тамбов,Ресей

✉ *Корреспондент-автор: rozaid2@mail.ru*

Бұл мақалада 5Co5Mn катализаторларын синтездеу және олардың құрылымдық-фазалық сипаттамалары мен каталитикалық белсенділігін зерттеу нәтижелері келтірілген. Катализаторлар табиғи опока негізінде төмен температуралы жану әдісімен дайындалды. Зерттеу барысында алынған үлгілердің морфологиялық және физика-химиялық қасиеттері рентгенофазалық талдау, электрондық микроскопия және BET әдістерімен анықталды. Нәтижелер көрсеткендей, табиғи опока катализатордың жоғары дисперстілігі мен белсенді орталықтарының біркелкі таралуын қамтамасыз ететін тиімді тасымалдағыш болып табылады. 5Co5Mn жүйесінің үлгілері көмірсутектер мен көміртек тотығын терең тотықтыру реакцияларында жоғары каталитикалық белсенділік көрсетті. Осылайша, табиғи опоканы аз өңдеумен қолдану қоршаған ортаға қауіпсіз және экономикалық тиімді катализаторлар алу жолдарының бірі ретінде қарастырылуы мүмкін.

Түйін сөздер: катализатор,опока, төмен температуралы жану әдісі,марганец,кобальт, тасымалдағыш,тотықтыру реакциясы.

РАЗРАБОТКА КАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНОГО И УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ ЗАПАДНОГО КАЗАХСТАНА

[1]Р.И. Джусупкалиева✉, [1]Н.М. Жумагалиева, [1]А.Б. Кыдрашов, [2]С.И. Помогайло, [2]В.Н. Борщ, [2]Е.В. Пугачева, [3]А.В. Рухов

[1]НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», Уральск, Казахстан,
[2]Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук, Москва, Россия,
[3]Томбовский государственный технологический университет, Тамбов, Россия,
e-mail: rozaid2@mail.ru

В статье представлены результаты синтеза катализаторов 5Co5Mn и исследования их структурно-фазовых характеристик и каталитической активности. Катализаторы были получены методом низкотемпературного горения на основе природной опоки. Морфологические и физико-химические свойства образцов исследованы методами рентгенофазового анализа, электронной микроскопии и BET. Установлено, что природная опока является эффективным носителем, обеспечивающим высокую дисперсность и равномерное распределение активных центров катализатора. Катализаторы системы 5Co5Mn проявили высокую активность в реакциях глубокого окисления углеводородов и оксида углерода. Таким образом, использование природной опоки с минимальной обработкой может рассматриваться как перспективный и экологически безопасный способ получения эффективных катализаторов.

Ключевые слова: катализатор, опока, метод низкотемпературного горения, марганец, кобальт, носитель, реакция окисления.

DEVELOPMENT OF CATALYSTS BASED ON MINERAL AND HYDROCARBON RAW MATERIALS OF WESTERN KAZAKHSTAN

[1]R.I. Jussupkaliyeva✉, [1]N.M. Zhumagaliyeva, [1]A.B. Kydrashov, [2]S.I. Pomogailo, [2]V.N. Borshch, [2]E.V. Pugacheva, [3]A.V. Rukhov

[1]NJSC “Zhangir khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University”, Uralsk, Kazakhstan,
[2]A.G. Merzhanov Institute of Structural Macrokinetics and Materials Science Russian Academy of Sciences, Moskva, Russia,
[3]Tambov State Technological University Tambov, Russia,
e-mail: rozaid2@mail.ru

The paper includes the synthesis of 5Co5Mn catalysts and a detailed study of the structural, phase and catalytic properties. The catalysts were prepared through low-temperature combustion process of natural opoka. X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), and surface area measurements of the BET were used to analyse their morphology and physicochemical properties. The findings indicate that natural opoka has a great dispersion and even distribution of active sites. The catalysts are also active in the deep oxidation of hydrocarbons and carbon monoxide. Thus, natural opoka can be discussed as an inexpensive, but the environmentally friendly support of oxidation catalysts.

Keywords: catalyst, opoka, low-temperature combustion method, manganese, cobalt, support, oxidation reaction.

Кіріспе. Жабын катализаторлары гетерогенді катализаторлардың кең таралған түріне жатады. Белсенді фазалар тасымалдағыш ретінде γ-Al_2O_3, SiO_2, алюмосиликаттар және басқа оксидтер жиі қолданылады. Соңғы жылдары арзан әрі экологиялық тиімді табиғи кеуекті материалдарға қызығушылық артып отыр [1-3].

Әдебиеттерде табиғи минералдар, соның ішінде бентонит саздары, галлуазит және диатомит катализаторлар мен олардың тасымалдағыштары ретінде кеңінен зерттелген [1-9]. Осыған ұқсас қасиеттерге ие жыныстардың бірі құрамында 92-98% SiO_2 болатын микрокеуекті кремнеземді жыныс – опока. Ол адсорбент және сүзгі материалы ретінде қолданылғанымен, катализатор тасымалдағышы ретінде жеткілікті зерттелмеген [10-14].

Терең каталитикалық тотығу процестері газ тәрізді ластағыштарды жоюда маңызды рөл атқарады. Бұл процестерде асыл металдар жоғары белсенділік көрсеткенімен, олардың жоғары құны мен тұрақтылығының төмендігі балама жүйелерді іздеуді талап етеді [15-20]. Осыған байланысты Co және Mn негізіндегі катализаторлар перспективалы болып табылады [21-29].

Жабынды катализаторларды алудың тиімді әдістерінің бірі – төмен температуралы жану әдісі. Бұл әдіс қысқа уақыт ішінде жоғары дисперсті белсенді фазаларды алуға мүмкіндік береді және энергия шығынын азайтады [30,31].

Осы жұмыстың мақсаты-Тасқалалық кен орнының табиғи опокасы негізінде алынған 5Co5Mn катализаторларын синтездеу және олардың құрылымдық-фазалық, физика-химиялық және каталитикалық қасиеттерін зерттеу.

БФ жабынын енгізер алдында табиғи опока үлгілері алдын ала өңдеудің бірнеше кезеңінен өткізілді. Барлық үлгілерге ортақ кезең-суда еритін тұздар мен оңай жуылатын сазды қоспаларды кетіру мақсатында жуу процедурасы болды.500 °C температурада күйдірудің мақсаты-ауада органикалық қоспаларды жағу және қалған сазды минералдардың дегидратациясын қамтамасыз ету еді. HCl ерітіндісімен өңдеу ауыспалы металдардың (ең алдымен темірдің) оксидтері, күрделі оксидтері мен карбонаттарын, сондай-ақ сілтілі-жер металдарының карбонаттарын кетіру үшін жүргізілді. Бұл процедуралар әртүрлі үлгілерге жеке қолданылып, олардың әрқайсысының әсерін анықтау көзделді.

Материалдар мен әдістер. Қолданар алдында барлық опока үлгілері ұнтақталып, 0,1–0,3 мм фракция бөлініп алынды, бірнеше рет дистилденген сумен жуылып, 90 °C температурада кептіргіш шкафта кептірілді. Бірінші бөлігі (опока I) қосымша өңдеусіз қалдырылды, екінші бөлігі (опока II) 500 °C температурада қосымша күйдірілді, үшінші бөлігі (опока III) 10%-дық HCl ерітіндісімен жуылып, содан кейін қайтадан дистилденген сумен шайылды, ал төртінші бөлігі (опока IV) де 10%-дық HCl ерітіндісімен жуылып, қайта дистилденген сумен шайылып, кейін 500 °C температурада күйдірілді.

Дайындалған тасымалдағыштар (әрқай-

сысы 5г) металл нитраттары ($Co(NO3)_2$•$6H_2O$ +$Mn(NO3)_2$•$6H_2O$) мен карбамид ерітінділерінің қоспасымен сіңірілді. Ерітінді концентрациялары таза металдарды алу есебінен есептелді. Үлгілер 90 °С-та кептіріліп, жалпақ түбі бар кварцты түтікшелі реакторға орналастырылды. Реактор үстінен шаң ұстағыш жүйемен жабылып, аргон газымен үрленді. Реактор түбіндегі қыздырғыштың қуаты бүкіл процесс бойы өзгеріссіз сақталды. Температура реактор ортасына орналастырылған термопара арқылы бақыланды.

Реакция өткеннен кейін және үлгі салқындаған соң, ол реактор ішінде аргон ортасында 5%-дық H_2O_2 ерітіндісімен тұрақтандырылды. Бұл белсенді фазада болуы мүмкін жоғары дисперсті металл фазаларының ауада өздігінен тұтануынан қорғау үшін жасалды. Кейін үлгі дистилденген сумен жуылып, 90 °С-та кептірілді. Алынған катализатордан <0,1 мм фракциясы бөлініп тасталды. Қондырғының сызбасы мен синтез процедурасы бұған дейінгі жұмыстарда егжей-тегжейлі сипатталған [22,23].

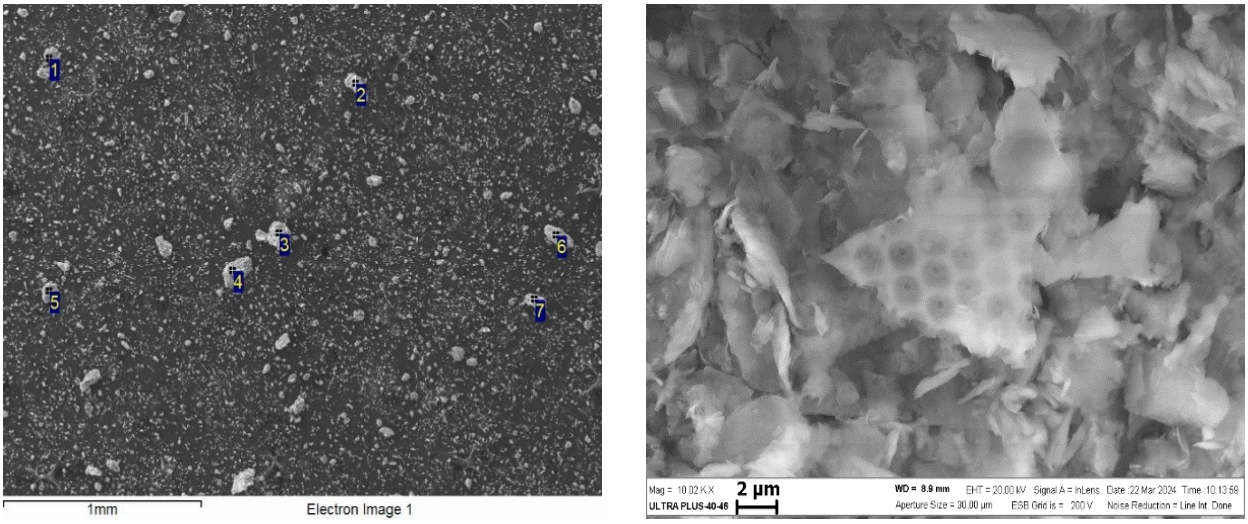
Рентгенофазалық талдау (РФА) үлгілеріне ДРОН-3М (Ресей) дифрактометрінде FeKα сәулеленуімен жүргізілді. Катализаторлардың беткі морфологиясы мен элементтік құрамы Германиялық «Carl Zeiss» компаниясының Zeiss Ultra Plus (Ultra 55 базасында) аса жоғары айқындығы бар автоэмиссиялық сканерлеуші электрондық микроскопында, «Oxford Instruments» фирмасының INCA Energy 350 XT микроанализ жүйесі арқылы зерттелді. Меншікті беттік аудан азоттың физикалық адсорбциясы арқылы БЭТ әдісімен ГОСТ 23401-90 стандартына сәйкес жасалған қондырғыда өлшенді.

Алынған үлгілер катализатордың бекітілген қабаты бар (көлемі 1 см³, фракциясы 0,1-0,3 мм) кварцты ағындық реакторда орнатылған каталитикалық қондырғыда сыналды. Бастапқы газ қоспасының және терең тотығу реакциясы өнімдерінің құрамы Ресейдің «Мета» компаниясы шығарған Автотест 02.03П бес компонентті газ талдағышының (нөлдік дәлдік класы) көмегімен анықталды.

Бастапқы газ қоспасының құрамы (көлемдік %): пропан-0,15; CO-0,6; O_2-1,6; азот-100%-ға дейін. Газ беру көлемдік жылдамдығы 120000 сағ $^{-1}$ болды. Тәжірибелер 150–540 °С температура аралығында, әр 50 °С сайын жүргізілді. CO мен пропанның терең тотығу барысындағы конверсиясы келесі формула бойынша есептелді:

$$X_{R,T} = \left[\frac{C_{R,0} - C_{R,T}}{C_{R,0}}\right] \cdot 100\%,$$

мұндағы CR,0 және CR,T- бастапқы газ қоспасындағы және реактордан Т -температурада шыққан кездегі реагенттің (CO немесе пропанның) концентрациялары, көлемдік пайызбен көрсетілген.



1-сурет. Алдын ала өңделген опока II үлгісінің беткі морфологиясы (SEM), наноөлшемді ұяшықты құрылымның бастапқы күйі

Нәтижелер және талқылау. II және IV үлгідегі тасымалдағыштардың, сондай-ақ II үлгі опокасы негізіндегі катализатордың беткі морфологиясы мен элементтік құрамы SEM/EDS әдісі арқылы зерттелді. Нәтижелер 1-3-суреттерде келтірілген.

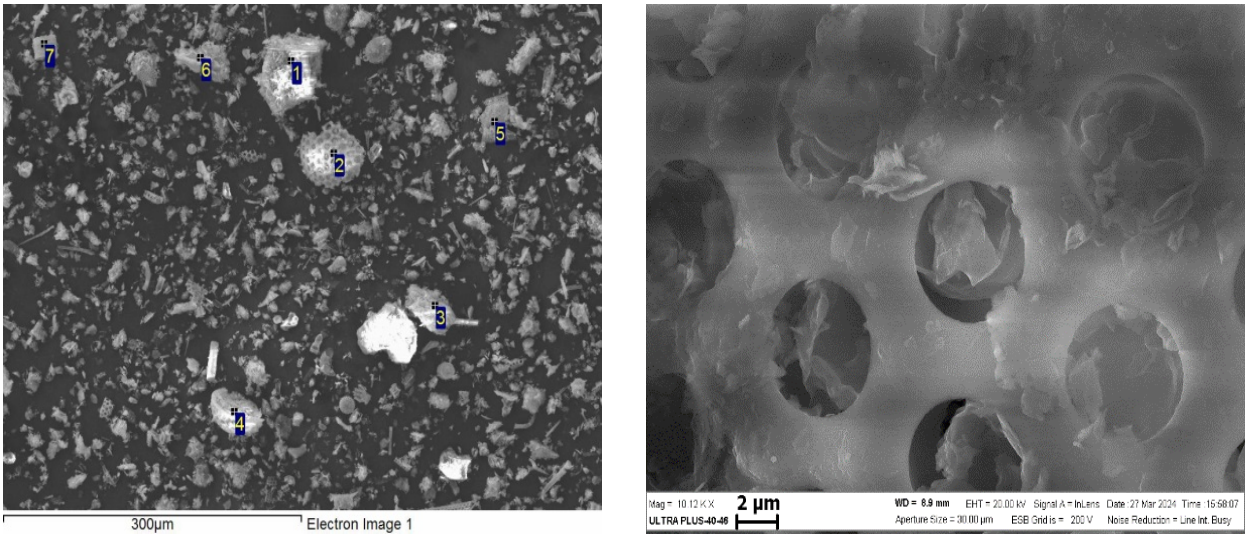
Айта кетерлігі, тасымалдағыш түйіршіктерінің беткі құрылымына тән ерекшелік-қышқылмен өңдеуге дейінгі (1-сурет) және кейінгі (2-сурет) наноөлшемді ұяшықты құрылымдардың болуы. Бұл құрылымдардың қабырғаларының қалыңдығы ≤ 50 нм шамасында және 4-суретте айқын көрінеді. HCl ерітіндісімен өңдеу мен күйдіруден кейін ұяшық қабырғаларының пішіні өзгеріп, олар біраз «еріп» жуандайды (2-сурет). Алайда БФ жабынын енгізу бұл құрылымдардың іс жүзінде толық бұзылуына әкеледі (3-сурет). Тек ұяшықты құрылымдардың жекелеген элементтері ғана сақталады.

Байқалған тағы бір жайт-опока үлгілерін өңдеу процедурасы күрделене түскен сайын (опока I → опока II → опока III → опока IV, әрі қарай БФ енгізу), тасымалдағыш пен катализатор түйіршіктерінің бет морфологиясы барған сайын «бұзылған», бейберекет пішінді сипатқа ие бола бастайды.

Элементтік микроанализ деректері тасымалдағыштар мен катализатордың жекелеген түйіршіктерінде элементтердің мөлшері айтарлықтай өзгеріп отыратынын көрсетеді. Бұл құбылыс тек қоспалық элементтерге ғана емес, сондай-ақ құрылым түзуші элементтерге (Si, Al) де тән. Мұндай айырмашылықтар жоғарыда атап өтілген табиғи минералдардың құрылымдық біртектілігінің болмауымен түсіндірілетін сияқты.

1-кесте. Белгіленген аймақтардағы элементтік құрамы

Аумағы	Құрамы, салм. %							
	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
1	58,18	0,14	0,83	8,68	28,18	1,29	0,42	2,30
2	57,39	0,10	0,82	8,50	28,71	1,59	0,14	2,77
3	65,16	0,00	0,66	6,31	25,61	0,88	0,08	1,32
Орташа	60,24	0,08	0,77	7,83	27,50	1,25	0,21	2,13



2-сурет. Қышқылмен өңделіп және күйдірілген опока IV үлгісінің беткі морфологиясы (SEM), құрылымның ішінара өзгеруі

2-кесте. Белгіленген нүктелердегі элементтік құрамы

Нүктелер	Құрамы, салм. %						
	O	Mg	Al	Si	K	Ti	Fe
1	62,65	0,29	3,04	10,58	0,15	22,59	0,70
2	57,52	0,42	4,58	35,79	0,69	0,21	0,78
3	65,74	0,12	5,19	22,04	1,78	0,75	4,41
4	70,59	0,25	2,87	25,39	0,46	0,06	0,40
5	76,34	0,18	2,98	19,91	0,28	0,03	0,28
6	64,15	0,61	9,21	23,07	1,05	0,32	1,59
7	61,48	0,06	0,90	37,29	0,11	0,00	0,16
Орташа	65,50	0,28	4,11	24,87	0,64	3,42	1,19

Кейбір үлгілерде титанның болатыны байқалады, алайда ол, ең ықтимал себеп оның төмен концентрациясына байланысты, тіпті қандай да бір қосылыс түрінде болса да РФА нәтижелерінде анықталмайды. Ал магний, оның беттегі мөлшері пайыздың үлес бөлігімен ғана өлшенсе де, дифрактограммаларда, әсіресе опока IV үлгісінде (2г-суретті қараңыз), магний силикат түрінде сенімді түрде тіркеледі.

Опока II үлгісіне БФ жабынын енгізу оның бетінде оттегінің мөлшерінің айтарлықтай төмендеуіне әкелді (1 және 3-суреттердегі кесте деректерін салыстырыңыз). Бұл нәтиже синтезден кейін үлгінің беті сутек пероксиді ерітіндісімен тұрақтандырылғанын ескерсек те байқалады. Мұны тасымалдағыштың бетінде әлсіз байланысқан оттегінің бір бөлігі БФ енгізу кезіндегі жану процесі барысында реакцияға түсуімен түсіндіруге болады.

Сондай-ақ катализатор түйіршіктері бетінде Co мен Mn элементтерінің концентрацияларының абсолюттік мәндері бойынша да, олардың өзара қатынасы бойынша да елеулі ауытқулар байқалады. Бұл құбылыс, жоғарыда айтылғандай, құрылымдық біртектіліктің болмауымен, ең алдымен ашық кеуектердің саны мен таралу ерекшеліктерімен байланысты, өйткені дәл осы аймақтарға капиллярлық әсер арқылы БФ прекурсорларының ерітіндісі синтезге дейін енеді.

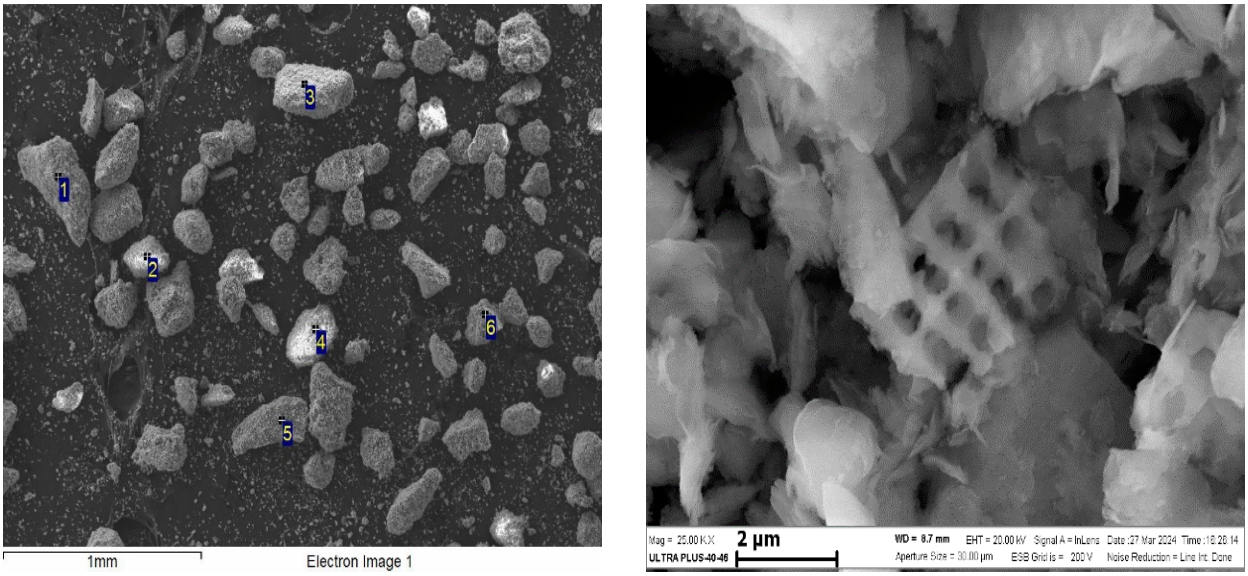
Меншікті бет ауданы (Sуд) БЭТ әдісімен анықталған кейбір тасымалдағыштар мен олардың негізіндегі катализатор үлгілерінің мәндері төменде келтірілген ($м^2/г$):

Опока I …… 21,0
Опока II …….. 42,0
Опока IV ……. 64,1
5Co5Mn/опока I ……40,6
5Co5Mn/опока II …….. 29,5
5Co5Mn/опока IV ……. 62,8

Суреттерді талдау нәтижесінде опока бетінде бастапқыда айқын байқалатын наноөлшемді ұяшықты құрылымдардың бар екендігі анықталды (1-сурет). Қышқылмен өңдеу және күйдіру нәтижесінде бұл құрылымдар ішінара деформацияланып, қабырғалары жуандайды (2-сурет). Белсенді фаза енгізілгеннен кейін (3-сурет) бастапқы құрылымдардың басым бөлігі бұзылып, беті бейреттелген морфологияға ие болады. Бұл өзгерістер катализатордың белсенді орталықтарының таралуына және оның каталитикалық қасиеттеріне тікелей әсер етеді.

Тасымалдағыштарды өңдеудің айқын бір ерекшелігі байқалады: өңдеу күрделенген сайын үлгілердің меншікті бет ауданы арта түседі, бұл, шамасы, ұсақ кеуектердің көбірек ашылуының нәтижесі. Алайда БФ жабынын енгізу бұл көрсеткішке әртүрлі әсер етеді. Көріп тұрғандай, опока I негізіндегі катализатордың Sуд мәні бастапқы тасымалдағышқа қарағанда екі есе жоғары. Керісінше, опока II негізіндегі

катализаторда бұл тәуелділік кері сипатта, ал 5Co5Mn/опока IV үлгісінде іс жүзінде ешқандай өзгеріс байқалмайды. Мұны әртүрлі тасымалдағыш үлгілерінің морфологиясы мен, белгілі бір дәрежеде, элементтік құрамының айырмашылығына байланысты синтез кезінде алынған БФ-тың дисперстілік дәрежесінің әртүрлі болуымен түсіндіруге болады.



3 - сурет. 5Co5Mn/опока II катализаторының беткі морфологиясы (SEM), белсенді фаза енгізілгеннен кейінгі құрылымның бұзылуы

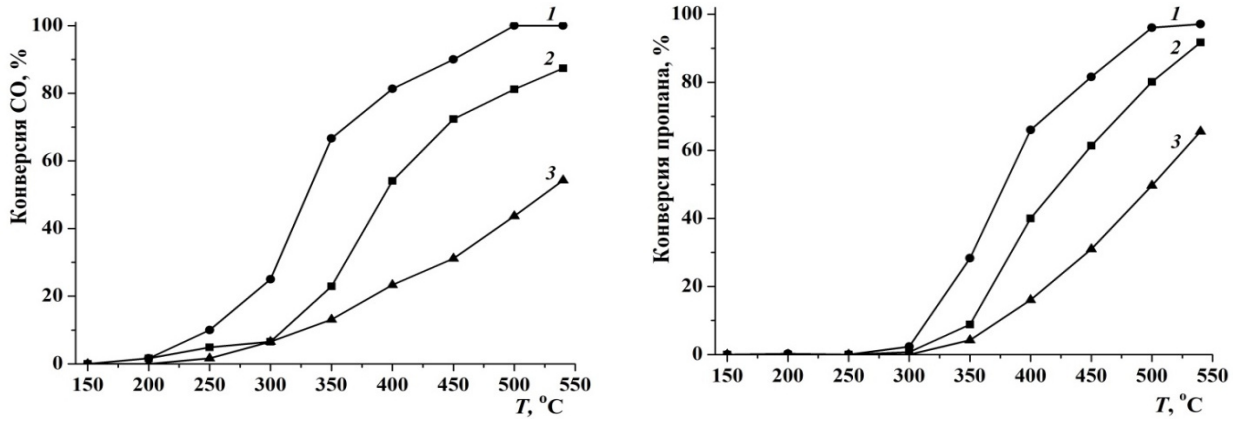
3-кесте. Белгіленген нүктелердегі элементтік құрамы

Нүктелер	Құрамы, мас. %								
	O	Mg	Al	Si	K	Ti	Mn	Fe	Co
1	64,39	0,50	4,56	26,05	0,34	0,07	1,50	0,84	1,73
2	38,39	0,99	0,35	35,77	1,86	0,57	5,55	3,39	5,12
3	14,66	0,00	21,22	3,54	0,19	0,00	17,19	21,98	21,23
4	5,05	0,83	3,66	47,53	1,61	3,20	16,08	5,90	16,15
5	36,58	0,74	7,40	30,93	1,63	0,17	9,03	4,46	9,05
6	55,00	0,89	7,40	24,52	0,79	0,23	4,38	1,63	5,14
Орташа	35,68	0,66	7,43	28,06	1,12	0,71	8,96	6,35	9,68

Өңделген опока негізіндегі бірқатар катализаторлар пропан мен CO-ның терең тотығу процесінде сыналды. Нәтижелер 4-суретте көрсетілген. Келтірілген деректерге сәйкес, опока негізінде алынған катализаторлар CO тотығу реакциясында да, пропанның терең тотығу процесінде де жеткілікті жоғары белсенділік танытты. Бірінші жағдайда 5Co5Mn/опока I катализаторында (4а-сурет) 500 °C температурада CO-ның 100%-дық конверсиясы байқалды, және бұл катализатор барлық температура диапазонында ең жоғары белсенділік көрсетті. Ал екінші жағдайда, сол катализаторда пропанның конверсиясы 540 °C-та 97%-ға жетті (4б-сурет).

Зерттелген үлгілер арасында ең төмен белсенділік опока IV негізіндегі катализаторға тән болды, бұл оның осы қатардағы ең үлкен меншікті бет ауданына ие болуына қарамастан байқалды.

Айта кетерлік жайт, 5Co5Mn/опока II және 5Co5Mn/опока IV үлгілерінде жоғары температура аймағында (≥ 500 °C) пропанның конверсиясы CO конверсиясынан асып түсті.



4-сурет. Зерттелген катализаторлар үшін CO (а) және пропанның (б) конверсиясының температураға тәуелділігі:
1 – 5Co5Mn/опока I; 2 – 5Co5Mn/опока II; 3 – 5Co5Mn/опока IV

4-суретте көрсетілгендей, температура артқан сайын барлық үлгілерде CO және пропан конверсиясы өседі. Ең жоғары каталитикалық белсенділік 5Co5Mn/опока I үлгісінде байқалады, бұл белсенді фазаның тиімді таралуымен және тасымалдағыштың қолайлы құрылымымен байланысты. Опока IV негізіндегі катализатордың белсенділігі төмен болғанымен, оның меншікті бет ауданы жоғары. Бұл белсенді орталықтардың қолжетімділігі мен таралуының біркелкі еместігін көрсетеді.

Қорытынды. Бірінші рет төмен температуралы жану әдісі арқылы Co және Mn нитраттарының карбамидпен қоспасынан әртүрлі тәсілмен өңделген опока негізінде CoMn–БФ (5 % + 5 % металл есебімен) құрамды катализаторлар алынды. РФА нәтижелері бойынша қышқылмен өңдеуден кейінгі және одан кейінгі күйдіру сатыларынан өткен опока үлгілерінен темір мен магнийдің күрделі оксидтік қосылыстары түріндегі қоспа фазалар жойылатыны анықталды. Негізгі фазалар ретінде әртүрлі модификациядағы кремний тотығы, сондай-ақ Na-, Ca- және Mg-алюмосиликаттар анықталды. Сонымен қатар аморфты фазалардың едәуір үлесі байқалды.

SEM/EDS әдісімен тасымалдағыштар мен катализатордың бет морфологиясы мен элементтік құрамын зерттеу нәтижесінде опоканы өңдеу процесі күрделенген сайын бастапқы наноөлшемді ұяшықты құрылымдардың біртіндеп бұзылатыны және бұл құбылыс БФ жабынын енгізу кезінде одан әрі күшейетіні анықталды. Сондай-ақ тасымалдағыштар мен катализатор түйіршіктерінде элементтердің мөлшері бойынша айтарлықтай ауытқулар байқалды, бұл, шамасы, табиғи минералдың құрылымдық біртектілігінің болмауымен байланысты.

Тасымалдағыш үлгілерінің меншікті бет ауданы олардың өңдеу процесі күрделенген сайын арта түсетіні байқалды, алайда катализаторларда бұл көрсеткіш бірқалыпты өзгермейді. Бірнеше катализаторды сынау нәтижесінде CO мен пропанның терең тотығу процесіндегі белсенділік келесі ретпен анықталды:
5Co5Mn/опока I > 5Co5Mn/опока II > 5Co5Mn/опока IV.

5Co5Mn/опока I үлгісінде 500 °C температурада CO-ның 100%-дық, ал 540 °C-та пропанның 97%-дық конверсиясы байқалды. Зерттелген катализаторлар арасында ең төмен белсен-

ділік опока IV негізіндегі үлгіге тән болды, бұл оның зерттелгендердің ішінде ең үлкен меншікті бет ауданына (62,8 м²/г) ие болуына қарамастан байқалды.

Осылайша, минималды өңдеуден өткен табиғи опока көмірсутектер мен CO-ның терең тотығуы үшін тиімді катализатор тасымалдағышы бола алады.

Алынған нәтижелер ұсынылған катализаторларды өнеркәсіптік газдарды тазарту жүйелерінде, соның ішінде көмірсутектер мен көміртек тотығын залалсыздандыруда қолдануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, олар каталитикалық жану құрылғыларында, экологиялық қауіпсіз жылу генераторларында және энергетикалық қондырғыларда пайдалануға перспективалы болып табылады.

Алғыс білдіру *Жұмыс Ресейдің Материалтану ғылыми-зерттеу институтының (ИСМАН) мемлекеттік тапсырмасы аясында және Қазақстан Республикасының «Болашақ» халықаралық бағдарламалар орталығы» АҚ-ның қаржылық қолдауымен орындалды.*

Әдебиеттер

1. Gandhi D., Bandyopadhyay R., Soni B. Naturally occurring bentonite clay: Structural augmentation, characterization and application as catalyst. //Materials Today: Proceedings. -2022.-Vol.57(1). -P.194-201. DOI 10.1016/j.matpr.2022.02.346.

2. Borah D., NathH., Saikia H.Modification of bentonite clay & its applications: A review. //Reviews in Inorganic Chemistry. - 2021. -Vol.42(3):265-282. DOI 10.1515/revic-2021-0030.

3. Zhou D., Jiang D., Jing H., Yin C., Li C. Natural aluminosilicate nanoclay mineral for photocatalytic applications: Influence of the surface properties in photocatalysis. //Applied Clay Science. -2024.-Vol.249(1):107240. DOI 10.1016/j.clay.2023.107240.

4. Feng J., Hu X., Yue P.L. Novel bentonite clay-based Fe-nanocomposite as a heterogeneous catalyst for Photo-Fenton discoloration and mineralization of orange II. //Environmental Science & Technology. -2003.-Vol.38(1):269-275. DOI 10.1021/es034515c.

5. Massaro M., Noto R., Riela S. Halloysite nanotubes: Smart nanomaterials in catalysis. // Catalysts. -2022.-Vol.12(2):149. DOI 10.3390/catal12020149.

6. Борщ В.Н., Быстрова И. М., Пугачева Е. В., Смирнова Е.М., Ставицкая А.В., Винокуров В.А. Синтез в режиме низкотемпературного горения катализаторов на основе галлуазита для глубокого окисления углеводородов, CO и метанирования CO_2. //Кинетика и катализ. -2022. - Т.63. - № 6. - С.845-857. DOI 10.31857/S0453881122060028.

7. Borshch V.N., Bystrova I.M., Pugacheva E.V., Smirnova E.M., Stavitskaya A.V., Vinokurov V.A. Low-temperature combustion synthesis of halloysite-based catalysts for the deep oxidation of hydrocarbons and carbon monoxide and the methanation of carbon dioxide. //Kinetics and Catalysis. - 2023. - Vol.63.-P.801-812. DOI 10.1134/S0023158422060027.

8. Liu Q., Li M., Wang S., Lv S., Han F., Xi Y., Cao Z., Ouyang J. Ultrathin 3D CoMn nanoflowers coupled diatomite for highly efficient catalytic oxidation of CO and propane. //Chemical Engineering Journal. -2023.-Vol.477: 147102. DOI 10.1016/j.cej.2023.147102.

9. Liang L., Miao C., Ke X., Peng Y., Chen G., Ouyang J. A superior strategy for CO_2 methanation under atmospheric pressure: Organic acid-assisted Co nanoparticles assembly on diatomite. //Fuel. -2023.-Vol.351:128931. DOI 10.1016/j.fuel.2023.128931.

10. Малькова В. Н. Способ получения сорбента для очистки твердых поверхностей и воды от нефти и жидких нефтепродуктов. //Патент 2642799. (РФ). -2018. Бюллетень №3.

11. Smol M., Włóka D. Use of natural sorbents in the processes of removing biogenic compounds from the aquatic environment. //Sustainability. - 2022.-Vol.14(11):6432. DOI 10.3390/su14116432.

12. Котляр В. Д., Братский Д.И., Устинов А. В. Вещественный состав и дообжиговые керамические свойства глинистых опок. //Инженерный вестник Дона. - 2010. -№ 4. - С.1-13.

13. Makarov D.V., Manakova N.K., Suvorova O.V. Production of rock-based foam-glass materials. Glass and Ceramics. //Springer Nature link. -2023.- Vol.79.- P.411-417. DOI 10.1007/s10717-023-00522-8.

14. Құрманғажы Г., ТәжібаеваС.М., Мұсабеков Қ.Б, СыдықбаеваС.А., Жақыпбаев Б.Е. Полиакрил қышқылымен тұрақтандырылған магнетит-опока композиті/ Chem Bull Kaz Nat Univ.-2020. - № 3(98)- Б.12-17. DOI 10.15328/cb1160.

15. Schilling C., Ziemba M., Hess C., Ganduglia-Pirovano M.V. Identification of single-atom active sites in CO oxidation over oxide-supported Au catalysts. //Catalysis. -2020.-Vol.383.-P.264-272. DOI 10.1016/j.jcat.2020.01.022.

16. Fan J., Hu S., Li C., Wang Y., Chen G. Effect of loading method on catalytic performance of Pt/CeO_2 system for CO oxidation. //Molecular Catalysis. -2024.-Vol.558:114013. DOI 10.1016/j.mcat.2024.114013.

17. Auvray X., Lindholm A., Milh M., Olsson L. The addition of alkali and alkaline earth metals to Pd/Al_2O_3 to promote methane combustion. Effect of Pd and Ca loading. //Catalysis Today. -2018. - Vol.299.- P.212–218. DOI 10.1016/j.cattod.2017.05.066.

18. Zhang W-X., Zhao X., Xu L-Y., Xia S., Zhou Y-F., Chen C-L., He H-H., Luo M-F., Chen J. Unveiling the crucial active sites responsible for CO, n-heptane, and toluene oxidation over Pt/ZrO_2 catalyst. //Molecular Catalysis. -2024.Vol.558:114015. DOI 10.1016/j.mcat.2024.114015.

19. Shikina N.V., Yashnik S.A., Gavrilova A.A., Nikolaeva O.A., Dovlitova L.S., Ishchenko A.V., Ismagilov Z.R. Effect of the conditions of solution combustion synthesis on the properties of monolithic $Pt–MnO_x$ catalysts for deep oxidation of hydrocarbons. //Kinetics and Catalysis. -2020.-Vol.61(5). - P.809-823. DOI 10.1134/S0023158420050110.

20. Montenegro N.D., Epling W.S.Effects of SO_2 poisoning and regeneration on spinel containing CH4 oxidation catalysts. Applied Catalysis//Environmental. - 2023.-Vol.336:122894. DOI 10.1016/j.apcatb.2023.122894.

21. Borshch V.N., Zhuk S.Ya., Vakin N.A., Smirnov K.L., Borovinskaya I.P., Merzhanov A.G. Sialons as a new class of supports for oxidation catalysts. //Doklady Physical Chemistry. -2008.-Vol.420.- P.121-124. DOI 10.1016/10.1134/S0012501608060018.

22. Borshch V.N., Dement’eva I.M., Khomenko N.Yu. Supported polymetallic catalysts by self-propagating surface synthesis. //Self-Propagating High-Temperature Synthesis. -2019.-Vol.28.-P.45-49. DOI 10.3103/S1061386219010059.

23. Borshch V.N., Bystrova I.M., Boyarchenko, O.D., Khomenko N.Yu., Belousova O.V. Low-temperature combustion synthesis and characterization of Co-containing catalysts based on modified silica gel. //Self-Propagating High-Temperature Synthesis. -2023.-Vol.32.- P.126-138. DOI 10.3103/S1061386223020024.

24. Guan Y., Shen H., Guo X., Mao B., Yang Z., Zhou Y., Liang H., Fan X., Jiao Y., Zhang J. Structured hierarchical Mn–Co mixed oxides supported on silicalite-1 foam catalyst for catalytic combustion. //Chinese Journal of Chemical Engineering. -2020.- Vol.28.- P.2319-2327. DOI 10.1016/j.cjche.2020.06.019.

25. Liu Z., Li J., Wang R. CeO_2 nanorods supported M–Co bimetallic oxides (M = Fe, Ni, Cu) for catalytic

CO and C_3H_8 oxidation. //Colloid and Interface Science. -2020.-Vol.560.- P.91-102. DOI 10.1016/j.jcis.2019.10.046.

26. Zhang X., Ye J., Yuan J., Cai T., Xiao B., Liu Z., Zhao K., Yang L., He D. Excellent low-temperature catalytic performance of nanosheet Co–Mn oxides for total benzene oxidation. //Applied Catalysis A: General. - 2018.-Vol.566.-P .104-112. DOI 10.1016/j.apcata.2018.05.039.

27. Feng C., Chen C., Xiong G., Yang D., Wang Z., Pan Y., Fei Z., Lu Y., Liu Y., Zhang R., Li X. Cr-doping regulates Mn_3O_4 spinel structure for efficient total oxidation of propane: Structural effects and reaction mechanism determination. //Applied Catalysis B: Environmental. - 2023. -Vol.328:122528. DOI 10.1016/j.apcatb.2023.122528.

28. Shen K., Wang C.-Y., Rai R.K., Stach E.A., Vohs J.M., Gorte R.J. Synthesis of thin-film $CuMn_2O_4$ for low-temperature CO oxidation. //Applied Catalysis A: General. - 2024. -Vol.682:119823. DOI 10.1016/j.apcata.2024.119823.

29. Gonzalez-Cobos J., Mylonoyannis B., Chai G., Zhang W., Tian C., Kaddouri A., Gil S. Low-temperature gas-phase toluene catalytic combustion over modified $CoCr_2O_4$ spinel catalysts: Effect of Co/Cr content and calcination temperature. //Applied Catalysis A: General. -2023.-Vol.657:119162. DOI 10.1016/j.apcata.2023.119162.

30. Zav'yalova U.F., Tret'yakov V.F., Burdeinaya T.N., Lunin V.V., Shitova N.B., Ryzhova N.D., Shmakov A.N., Nizovskii A.I., Tsyrul'nikov P.G. Self-propagating synthesis of supported oxide catalysts for deep oxidation of CO and hydrocarbons. //Kinetics and Catalysis. -2005.- Vol.46.-P.752-757. DOI 10.1007/s10975-005-0132-6.

31. Kotolevich Y.S., Mamontov G.V., Vodyankina O.V., Petrova N.I., et.all. Catalytic Pd–Ag nanoparticles immobilized on fiber glass by surface self-propagating thermal synthesis. // Self-Propagating High-Temperature Synthesis. -2017. - Vol.26.- P.234-239. DOI 10.3103/S1061386217040045.

References

1. Gandhi D., Bandyopadhyay R., Soni B. Naturally occurring bentonite clay: Structural augmentation, characterization and application as catalyst. //Materials Today: Proceedings. -2022.-Vol.57(1). -P.194-201. DOI 10.1016/j.matpr.2022.02.346.

2. Borah D., NathH., Saikia H.Modification of bentonite clay & its applications: A review. //Reviews in Inorganic Chemistry. - 2021. -Vol.42(3):265-282. DOI 10.1515/revic-2021-0030.

3. Zhou D., Jiang D., Jing H., Yin C., Li C. Natural aluminosilicate nanoclay mineral for photocatalytic applications: Influence of the surface properties in photocatalysis. //Applied Clay Science. -2024.-Vol.249(1):107240. DOI 10.1016/j.clay.2023.107240.

4. Feng J., Hu X., Yue P.L. Novel bentonite clay-based Fe-nanocomposite as a heterogeneous catalyst for Photo-Fenton discoloration and mineralization of orange II. //Environmental Science & Technology. -2003.-Vol.38(1):269-275. DOI 10.1021/es034515c.

5. Massaro M., Noto R., Riela S. Halloysite nanotubes: Smart nanomaterials in catalysis. // Catalysts. -2022.-Vol.12(2):149. DOI 10.3390/catal12020149.

6. Borshh V.N., Bystrova I. M., Pugacheva E. V., Smirnova E.M., Stavickaja A.V., Vinokurov V.A. Sintez v rezhime nizkotemperaturnogo gorenija katalizatorov na osnove galluazita dlja glubokogo okislenija uglevodorodov, CO i metanirovanija CO2. //Kinetika i kataliz. -2022. - T.63. - № 6. - S.845-857. DOI 10.31857/S0453881122060028. [in Russian]

7. Borshch V.N., Bystrova I.M., Pugacheva E.V., Smirnova E.M., Stavitskaya A.V., Vinokurov V.A. Low-temperature combustion synthesis of halloysite-based catalysts for the deep oxidation of hydrocarbons and carbon monoxide and the methanation of carbon dioxide. //Kinetics and Catalysis. - 2023. - Vol.63.- P.801-812. DOI 10.1134/S0023158422060027.

8. Liu Q., Li M., Wang S., Lv S., Han F., Xi Y., Cao Z., Ouyang J. Ultrathin 3D CoMn nanoflowers coupled diatomite for highly efficient catalytic oxidation of CO and propane. //Chemical Engineering Journal. -2023.-Vol.477: 147102. DOI 10.1016/j.cej.2023.147102.

9. Liang L., Miao C., Ke X., Peng Y., Chen G., Ouyang J. A superior strategy for CO_2 methanation under atmospheric pressure: Organic acid-assisted Co nanoparticles assembly on diatomite. //Fuel. -2023.- Vol.351:128931. DOI 10.1016/j.fuel.2023.128931.

10. Mal’ kova V. N. Sposob poluchenija sorbenta dlja ochistki tverdyh poverhnostej i vody ot nefti i zhidkih nefteproduktov. //Patent 2642799. (RF). -2018. Bjulleten’ № 3. [in Russian]

11. Smol M., Włóka D. Use of natural sorbents in the processes of removing biogenic compounds from the aquatic environment. //Sustainability. - 2022.-Vol.14(11):6432. DOI 10.3390/su14116432.

12. Kotljar V. D., Bratskij D.I., Ustinov A. V. Veshhestvennyj sostav i doobzhigovye keramicheskie svojstva glinistyh opok. //Inzhenernyj vestnik Dona. - 2010. -№ 4. - S.1-13. [in Russian]

13. Makarov D.V., Manakova N.K., Suvorova O.V. Production of rock-based foam-glass materials. Glass and Ceramics. //Springer Nature link. -2023.- Vol.79.- P.411-417. DOI 10.1007/s10717-023-00522-8.

14. Құрманғazhy G., TəzhibaevaS.M., Мұsabekov Қ.B, SydықbaevaS.A., Zhaқypbaev B.E. Poliakril қyshқylymen tұraқtandyrylғan magnetit-opoka kompoziti/ Chem Bull Kaz Nat Univ.-2020. - № 3(98)- B.12-17. DOI 10.15328/cb1160. [in Kazakh]

15. Schilling C., Ziemba M., Hess C., Ganduglia-Pirovano M.V. Identification of single-atom active sites in CO oxidation over oxide-supported Au catalysts. //Catalysis. -2020.-Vol.383.-P.264-272. DOI 10.1016/j.jcat.2020.01.022.

16. Fan J., Hu S., Li C., Wang Y., Chen G. Effect of loading method on catalytic performance of Pt/CeO_2 system for CO oxidation. //Molecular Catalysis. -2024.-Vol.558:114013. DOI 10.1016/j.mcat.2024.114013.

17. Auvray X., Lindholm A., Milh M., Olsson L. The addition of alkali and alkaline earth metals to Pd/Al_2O_3 to promote methane combustion. Effect of Pd and Ca loading. //Catalysis Today. -2018. - Vol.299.- P.212–218. DOI 10.1016/j.cattod.2017.05.066.

18. Zhang W-X., Zhao X., Xu L-Y., Xia S., Zhou Y-F., Chen C-L., He H-H., Luo M-F., Chen J. Unveiling the crucial active sites responsible for CO, n-heptane, and toluene oxidation over Pt/ZrO_2 catalyst. //Molecular Catalysis. -2024. Vol.558:114015. DOI 10.1016/j.mcat.2024.114015.

19. Shikina N.V., Yashnik S.A., Gavrilova A.A., Nikolaeva O.A., Dovlitova L.S., Ishchenko A.V., Ismagilov Z.R. Effect of the conditions of solution combustion synthesis on the properties of monolithic $Pt–MnO_x$ catalysts for deep oxidation of hydrocarbons. //Kinetics and Catalysis. -2020.-Vol.61(5). - P.809-823. DOI 10.1134/S0023158420050110.

20. Montenegro N.D., Epling W.S.Effects of SO_2 poisoning and regeneration on spinel containing CH4 oxidation catalysts. Applied Catalysis//Environmental. - 2023.-Vol.336:122894. DOI 10.1016/j.apcatb.2023.122894.

21. Borshch V.N., Zhuk S.Ya., Vakin N.A., Smirnov K.L., Borovinskaya I.P., Merzhanov A.G. Sialons as a new class of supports for oxidation catalysts. //Doklady Physical Chemistry. -2008.-Vol.420.- P.121-124. DOI 10.1016/10.1134/S0012501608060018.

22. Borshch V.N., Dement’eva I.M., Khomenko N.Yu. Supported polymetallic catalysts by self-propagating surface synthesis. //Self-Propagating High-Temperature Synthesis. -2019.-Vol.28.-P.45-49. DOI 10.3103/S1061386219010059.

23. Borshch V.N., Bystrova I.M., Boyarchenko, O.D., Khomenko N.Yu., Belousova O.V. Low-temperature combustion synthesis and characterization of Co-containing catalysts based on modified silica gel. //Self-Propagating High-Temperature Synthesis. -2023.-Vol.32.- P.126-138. DOI 10.3103/S1061386223020024.

24. Guan Y., Shen H., Guo X., Mao B., Yang Z., Zhou Y., Liang H., Fan X., Jiao Y., Zhang J. Structured hierarchical Mn–Co mixed oxides supported on silicalite-1 foam catalyst for catalytic combustion. //Chinese Journal of Chemical Engineering. -2020.- Vol.28.- P.2319-2327. DOI 10.1016/j.cjche.2020.06.019.

25. Liu Z., Li J., Wang R. CeO_2 nanorods supported M–Co bimetallic oxides (M = Fe, Ni, Cu) for catalytic CO and C_3H_8 oxidation. //Colloid and Interface Science. -2020.-Vol.560.- P.91-102. DOI 10.1016/j.jcis.2019.10.046.

26. Zhang X., Ye J., Yuan J., Cai T., Xiao B., Liu Z., Zhao K., Yang L., He D. Excellent low-temperature catalytic performance of nanosheet Co–Mn oxides for total benzene oxidation. //Applied Catalysis A: General. - 2018.-Vol.566.-P .104-112. DOI 10.1016/j.apcata.2018.05.039.

27. Feng C., Chen C., Xiong G., Yang D., Wang Z., Pan Y., Fei Z., Lu Y., Liu Y., Zhang R., Li X. Cr-doping regulates Mn_3O_4 spinel structure for efficient total oxidation of propane: Structural effects and reaction mechanism determination. //Applied Catalysis B: Environmental. - 2023. -Vol.328:122528. DOI 10.1016/j.apcatb.2023.122528.

28. Shen K., Wang C.-Y., Rai R.K., Stach E.A., Vohs J.M., Gorte R.J. Synthesis of thin-film $CuMn_2O_4$ for low-temperature CO oxidation. //Applied Catalysis A: General. - 2024. -Vol.682:119823. DOI 10.1016/j.apcata.2024.119823.

29. Gonzalez-Cobos J., Mylonoyannis B., Chai G., Zhang W., Tian C., Kaddouri A., Gil S. Low-temperature gas-phase toluene catalytic combustion over modified $CoCr_2O_4$ spinel catalysts: Effect of Co/Cr content and calcination temperature. //Applied Catalysis A: General. -2023.-Vol.657:119162. DOI 10.1016/j.apcata.2023.119162.

30. Zav’yalova U.F., Tret’yakov V.F., Burdeinaya T.N., Lunin V.V., Shitova N.B., Ryzhova N.D., Shmakov A.N., Nizovskii A.I., Tsyrul’nikov P.G. Self-propagating synthesis of supported oxide catalysts for deep oxidation of CO and hydrocarbons. //Kinetics and Catalysis. -2005.- Vol.46.-P.752-757. DOI 10.1007/s10975-005-0132-6.

31. Kotolevich Y.S., Mamontov G.V., Vodyankina O.V., Petrova N.I., et.all. Catalytic Pd–Ag nanoparticles immobilized on fiber glass by surface self-propagating thermal synthesis. // Self-Propagating High-Temperature Synthesis. -2017. - Vol.26.- P.234-239. DOI 10.3103/S1061386217040045.

Авторлар туралы мәлімет

Джусупкалиева Р.И.-техника ғылымдарының магистрі, «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КеАҚ, Орал, Қазақстан, e-mail: rozaid2@mail.ru;

Жумагалиева Н.М.-техника ғылымдарының магистрі, «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КеАҚ, Орал, Қазақстан, e-mail: zhumagaliyeva.nurzhamal@inbox.ru;

Кыдрашов А. Б.- PhD докторы, қауымдастырылған профессор, «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КеАҚ, Орал, Қазақстан, e-mail: a.kydrashov@mail.ru,;

Помогайло С. И.-химия ғылымдарының кандидаты, А.Г. Мержанов атындағы Құрылымдық макрокинетика және ма-

териалтану мәселелері институты, Мәскеу, Ресей, e-mail: pomogsvetlana@mail.ru;

Борщ В. Н.-химия ғылымдарының кандидаты, Г.Мержанов атындағы Құрылымдық макрокинетика және материалтану мәселелері институты, Мәскеу, Ресей, e-mail: borsch@ism.ac.ru;

Пугачева Е. В.-химия ғылымдарының кандидаты, А.Г. Мержанов атындағы Құрылымдық макрокинетика және материалтану мәселелері институты, Мәскеу, Ресей, e-mail: help@ism.ac.ru;

Рухов А В.-техника ғылымдарының докторы, профессор, Тамбов мемлекеттік технологиялық университеті, Тамбов, Ресей, e-mail: rukhov.av@gmail.com.

Information about the authors

Jussupkaliyeva R. I.- Master of Technical Science, NJSC «Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University», Uralsk, Kazakhstan, e-mail: rozaid2@mail.ru;

Zhumagaliyeva N. M.-Master of Technical Science, NJSC «Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University», Uralsk, Kazakhstan, e-mail: zhumagaliyeva.nurzhamal@inbox.ru;

Kydrashov A. B.- PhD doctor, Associate Professor, NJSC «Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University», Uralsk, Kazakhstan, e-mail: a.kydrashov@mail.ru;

Pomogailo S.I.-Candidate of Chemical Sciences, A.G. Merzhanov Institute of Structural Macrokinetics and Materials Science, RAS, Moscow, Russia, e-mail: pomogsvetlana@mail.ru;

Borshch V. N.-Candidate of Chemical Sciences, A.G. Merzhanov Institute of Structural Macrokinetics and Materials Science, RAS, Moscow, Russia, e-mail: borsch@ism.ac.ru;

Pugacheva E. V.-Candidate of Chemical Sciences, A.G. Merzhanov Institute of Structural Macrokinetics and Materials Science, RAS, Moscow, Russia, e-mail: help@ism.ac.ru;

Rukhov A. V. -Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Tambov State Technological University, Tambov, Russia, e-mail: rukhov.av@gmail.com.

IRSTI 61.53.91 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1488**

PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF ACTIVATED CARBONS FROM SAWDUST AND THEIR APPLICATION IN WATER PURIFICATION

[1,2]M.K. Kazankapova✉, [1,2]B.T. Yermagambet✉, [1]A.B. Malgazhdarova, [1]A.S. Akshekina, [1,2]Zh.M. Kassenova, [3]N.S. Akimbekov, [3]K.T. Tastambek, [3]A.M. Malik, [3]M.H. Kozhakhmetova, [1]U.M. Kozhamuratova, [4]K.B. Kaliyev, [5]N. Bakhytuly

[1]«Institute of Coal Chemistry and Technology» LLP, Astana, Kazakhstan,
[2]K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
[3]Sustainability of Ecology and Bioresources Scientific Research Institute, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
[4]Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan,
[5]Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Almaty, Kazakhstan,

✉ *Corresponding authors: coaltech@bk.ru, maira_1986@mail.ru*

This paper investigates the production of activated carbon adsorbents based on wood sawdust (WSD) via carbonization and chemical activation with potassium hydroxide, and evaluates their potential for wastewater treatment. The aim of the study was to investigate the influence of the sawdust/KOH mass ratio and heat treatment conditions on the formation of the porous structure, physicochemical, and adsorption characteristics of the resulting materials. Chemical activation at 900°C was found to significantly enhance the micro- and mesoporous structure and increase the BET specific surface area from 38.9 to 776 m^2/g, with the total pore volume increasing to 0.385 cm^3/g. Raman spectroscopy data showed that the degree of graphitization of the activated carbons ranged from 19.3 to 27.4%, indicating the formation of a more ordered carbon matrix. SEM and elemental analysis results confirmed the formation of a developed porous structure and an increase in carbon content to 99.6%. Practical testing of activated carbon based on sawdust impregnated with KOH in a ratio of WSD/KOH 1:1 (AC-2) during the treatment of real wastewater showed high efficiency in removing organic pollutants, petroleum products and surfactants (up to 90–94%). These results confirm the potential of using activated carbons based on wood waste in water treatment and environmental protection technologies.

Keywords: adsorbent, waste, wood sawdust, activation, specific surface area.

АҒАШ ҮГІНДІЛЕРІНЕН АЛЫНҒАН БЕЛСЕНДІРІЛГЕН КӨМІРЛЕРДІҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ СУДЫ ТАЗАРТУДА ҚОЛДАНУ

[1,2]М.Қ. Қазанқапова✉, [1,2]Б.Т. Ермағамбет✉, [1]А.Б. Малғаждарова, [1]Ә.С. Акшекина, [1,2]Ж.М. Касенова, [3]Н.Ш. Акимбеков, [3]Қ.Т. Тастамбек, [3]А.М. Мәлік, [3]М.Х. Кожахметова, [1]Ұ.М. Қожамұратова, [4]Қ.Б. Калиев, [5]Н. Бақытұлы

[1]«Көмір химиясы және технология институты» ЖШС, Астана, Қазақстан,
[2]Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан
[3]Экология және биоресурстардың тұрақтылығы ғылыми-зерттеу институты, Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,
[4]Назарбаев университеті, Астана, Қазақстан,
[5]Металлургия және кен байыту институты, Алматы, Қазақстан,
e-mail: coaltech@bk.ru, maira_1986@mail.ru

Бұл мақалада ағаш үгінділерге (АҮ) негізделген белсендірілген көміртекті адсорбенттерді өндіруді калий гидроксидімен көміртектеу және химиялық активтендіру арқылы зерттейді және олардың ағынды суларды тазарту әлеуетін бағалайды. Зерттеудің мақсаты үгінді/КОН массалық қатынасы мен термиялық өңдеу жағдайларының алынған материалдардың кеуекті құрылымының, физика-химиялық және адсорбциялық сипаттамаларының қалыптасуына әсерін зерттеу болды.900°C температурадағы химиялық активтендіру микро- және мезокеуекті құрылымды айтарлықтай жақсартып, БЭТ меншікті бетінің ауданын 38,9-дан 776 $м^2/г$-ға дейін арттыратыны, ал жалпы кеуек

көлемі 0,385 см³/г-ға дейін артатыны анықталды. Раман спектроскопиясының деректері белсендірілген көміртектердегі графиттену дәрежесі 19,3-тен 27,4%-ға дейін өзгергенін көрсетті, бұл реттелген көміртекті матрицаның пайда болуын көрсетеді. СЭМ және элементтік талдау нәтижелері дамыған кеуекті құрылымның пайда болғанын және көміртегі мөлшерінің 99,6%-ға дейін артқанын растады. Нақты ағынды суларды тазарту кезінде АУ/КОН 1:1 (АС-2) қатынасында КОН сіңірілген үгінді негізіндегі белсендірілген көмірді практикалық сынақтан өткізу органикалық ластаушы заттарды, мұнай өнімдерін және беттік белсенді заттарды (90–94%-ға дейін) жоюда жоғары тиімділікті көрсетті. Бұл нәтижелер ағаш қалдықтарына негізделген белсендірілген көмірлерді суды тазарту және қоршаған ортаны қорғау технологияларында қолдану мүмкіндігін растайды.

Түйін сөздер: адсорбент, қалдық, ағаш үгіндісі, активация, меншікті беттік аудан.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕЙ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛОК И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ВОДООЧИСТКЕ

[1,2]М.К. Казанкапова✉, [1,2]Б.Т. Ермағамбет✉, [1]А.Б. Малғаждарова, [1]Ә.С. Акшекина, [1,2]Ж.М. Касенова, [3]Н.Ш. Акимбеков, [3]К.Т. Тастамбек, [3]А.М. Мәлік, [3]М.Х. Кожахметова, [1]Ұ.М. Қожамұратова, [4]К.Б. Калиев, [5]Н. Бақытұлы

[1]ТОО «Институт химии угля и технологии», Астана, Казахстан,
[2]Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан,
[3]Научно-исследовательский институт экологии и устойчивого развития биоресурсов, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
[4]Назарбаев университет, Астана, Казахстан,
[5]Институт металлургии и обогащения, Алматы, Казахстан,
e-mail: coaltech@bk.ru, maira_1986@mail.ru

В данной работе исследовано получение активированных углеродных адсорбентов на основе древесных опилок (ДО) методом карбонизации и химической активации гидроксидом калия, а также оценена возможность их применения для очистки сточных вод. Целью исследования являлось изучение влияния массового соотношения древесные опилки/КОН и условий термообработки на формирование пористой структуры, физико-химические и адсорбционные характеристики полученных материалов. Установлено, что химическая активация при температуре 900 °C приводит к существенному развитию микро- и мезопористой структуры и росту удельной поверхности по БЭТ с 38,9 до 776 м²/г, при увеличении общего объёма пор до 0,385 см³/г. По данным Рамановской спектроскопии степень графитизации активированных углей составляет 19,3–27,4 %, что свидетельствует о формировании более упорядоченной углеродной матрицы. Результаты СЭМ и элементного анализа подтвердили образование развитой пористой структуры и повышение содержания углерода до 99,6 %. Практическая апробация активированного угля на основе древесных опилок, пропитанного КОН в соотношении ДО/КОН 1:1 (АС-2), при очистке реальных сточных вод показала высокую эффективность удаления органических загрязнителей, нефтепродуктов и поверхностно-активных веществ (до 90–94 %). Полученные результаты подтверждают перспективность использования активированных углей на основе древесных отходов в технологиях водоочистки и охраны окружающей среды.

Ключевые слова: адсорбент, отход, древесные опилки, активация, удельная поверхность.

Introduction. Removing persistent and toxic contaminants from atmospheric and wastewater emissions is one of the most pressing environmental challenges [1–5]. Increasing anthropogenic impacts necessitate the development of highly effective methods for extracting harmful substances from gaseous and liquid media [4,5]. Among the various approaches, adsorption technology stands out for its versatility, enabling significant extraction and selectivity for a wide range of pollutants [2-5].

Carbon adsorbents obtained by activation are characterized by a large surface area and a complex

pore hierarchy, which explains their widespread use in purification processes [1-4]. Various forms of biomass, particularly wood waste (sawdust), are promising and cost-effective raw materials for the synthesis of such materials, as they are an inexpensive and renewable resource [1, 3, 4].

The adsorption process involves the concentration of adsorbate molecules at the phase boundary. Depending on the type of forces responsible for this retention, a distinction is made between physical sorption (due to van der Waals forces) and chemisorption (associated with the formation of chemical bonds) [6–10]. The branched porous system of activated carbons provides high specific surface areas, which is a key factor in the efficient absorption of particles of various sizes [6–9]. The presence of specific functional groups on the surface can significantly enhance the binding of certain contaminants through chemical interactions, which is reflected in the kinetic parameters and the type of adsorption isotherms [7, 8]. For the mathematical description of equilibrium in such systems, the Langmuir, Freundlich, and BET models are widely used, allowing for a quantitative assessment of the capacity and binding energy of the adsorbent [8, 9].

The technology for producing carbon adsorbents from biomass includes a pyrolysis (carbonization) stage followed by chemical or physical treatment to develop porosity (Fig.1). Chemical activation with potassium hydroxide (KOH) is recognized as one of the most effective methods for the targeted creation of a microporous structure with a high specific surface area [6, 8, 9]. During this stage, thermal decomposition of the main components of wood (cellulose and lignin) occurs, which initiates the formation of micropores and a significant increase in the internal surface area of the material [6-9]. Wood sawdust has proven itself as a feedstock for the production of adsorbents demonstrating high capacity and promising for use in water and gas purification systems [6-10].



Fig.1 - Production of activated carbon from biomass

The degree of processing, determined by the KOH/biomass mass ratio, has a significant impact on the morphology and performance characteristics of the final product, such as specific surface area, microporous volume, yield, and mineral content (ash content) [6-10]. Increasing the proportion of the activating agent intensifies its interaction with the carbon framework, promoting the formation of a developed pore network and, as a consequence, an increase in the specific surface area [7-9]. Thus, optimization of this parameter is of paramount importance for the creation of adsorbents with improved sorption properties and stability under conditions of repeated use [6-10].

Carbon materials obtained from sawdust by KOH activation are effectively used to remove a variety of organic and inorganic contaminants from aqueous solutions, including heavy metal ions, synthetic dyes, and other dissolved compounds [10-15]. Chemical activation not only increases porosity but also promotes the formation of functional groups on the surface capable of specific interaction with target contaminants [6, 10, 14]. The use of such adsorbents improves water quality, and their resistance to degradation allows for multiple sorption-desorption (regeneration) cycles [16-18].

Materials and methods. Experimental studies were carried out at the Institute of Coal Chemistry and Technology (Astana). Wood sawdust was used as the starting material. The characteristics of the

feedstock (in mass percent): A^d - 17.49 W^r - 68.34; V^d - 9.61 C^{td} - 61.96 O^{td} - 38.04. The main objective of the study was to obtain activated carbon sorbents based on biomass by carbonization and chemical activation, as well as a comprehensive study of their physicochemical and adsorption characteristics for subsequent use in wastewater treatment. The scheme of wood sawdust processing by the activation method is shown in Figure 2.

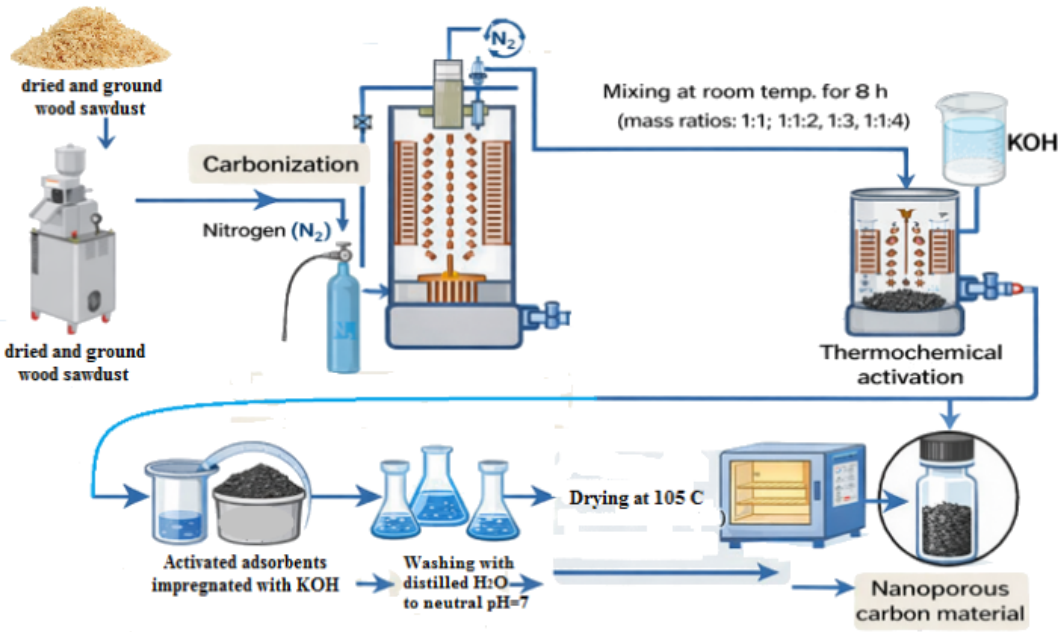


Figure 2 - Sawdust processing diagram

Wood sawdust was pre-crushed and dried to a constant weight. Carbonization was carried out in a BR-12NRT rotary tube furnace in a nitrogen atmosphere at a temperature of 550 °C for 60 minutes at a heating rate of 5 °C/min. After carbonization, the resulting material was thoroughly mixed with potassium hydroxide (KOH) powder in weight ratios of 1:1, 1:2, 1:3, and 1:4 and kept at room temperature for 8 hours. Next, thermochemical activation was carried out in a nitrogen atmosphere up to 900 °C at a heating rate of 5 °C/min with a 1-hour hold at 900 °C. Physical activation with water vapor was carried out at a temperature of 700–900 °C. After activation was complete, the samples were washed with distilled water to a neutral pH of 7 to remove residual reagents, then dried at 105 °C to a constant weight. As a result, a carbon material with a developed nanoporous structure was obtained.

The study utilized activated carbon (AC) synthesis methods, as well as a set of techniques for assessing their physicochemical and adsorption properties. Specifically, moisture content, ash content, volatile matter, aqueous extract pH, bulk density, methyl orange adsorption activity, total pore volume using the water absorption method, elemental analysis, and specific surface area determination using the BET method were determined. The potential of AC for wastewater treatment was also assessed.

The following laboratory equipment was used to perform the experiments: a BR-12NRT rotary tube furnace, a Thermostep Eltra thermogravimetric analyzer, a Chromas GC gas chromatograph, a Shaker-Incubator ES-20/60 incubator-shaker, a PD-303 spectrophotometer, a pH meter, a centrifuge, an ultrasonic bath, and others. Raman spectroscopy and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) were used to study the chemical structure and degree of ordering of the carbon matrix, which made it possible to identify the types of carbon bonds, surface functional groups, and the degree

of graphitization of the materials. The elemental composition, morphology, and particle size of the samples were analyzed using energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) on a Quanta 3D 200i scanning electron microscope.

In this work, the following abbreviations were used to designate the studied samples of activated carbons: AC-1: activated carbon based on wood sawdust, 900°C; AC-2: activated carbon based on wood sawdust impregnated with KOH, WSD/KOH=1:1, 900°C; AC-3: activated carbon based on wood sawdust impregnated with KOH, WSD/KOH=1:2, 900°C; AC-4: activated carbon based on wood sawdust impregnated with KOH, WSD/KOH=1:3, 900°C; AC-5: activated carbon based on wood sawdust impregnated with KOH, WSD/KOH=1:4, 900°C.

Results and discussion. During biomass carbonization, volatile matter is intensively removed, leading to the formation of a primary porous structure and an increase in the carbon content, resulting in biochar. Subsequent activation, carried out by physical or chemical methods, promotes further development and deepening of the material' s porous structure. The resulting activated carbon is characterized by a high specific surface area (BET) and significant adsorption capacity. Table 1 presents the material balance for the sawdust activation process.

Table 1 - Material balance of the wood sawdust activation process

№	Name of adsorbents	Incoming products		Outgoing products		
		Raw materials, %	Water, %	Porous carbon, %	Liquid product, %	Gas, %
1	Carbonization of wood sawdust at 550 °C	44.44	55.56	53.15	25.50	21.35
2	AC-1	44.44	55.56	55.48	24.12	20.40
3	AC-2	44.44	55.56	41.45	26.00	32.55
4	AC-3	54.55	45.45	46.98	29.50	23.52
5	AC-4	54.55	45.45	39.92	33.84	26.24
6	AC-5	54.55	45.45	37.69	33.50	2.81

A material balance of the process showed that the sawdust carbonization stage produces porous carbon with a yield of approximately 53%, with a significant portion of the mass being converted into liquid and gaseous products. For the AC-1 sample, obtained without a chemical activator, a slight increase in the yield of the solid product was observed, which is due to the stabilization of the carbon structure during high-temperature treatment.

The use of KOH as an activating agent (AC-2–AC-5) leads to a decrease in the yield of porous carbon and an increase in the proportion of liquid and gaseous products. With an increase in the sawdust/KOH mass ratio, the processes of chemical activation and gasification of the carbon matrix intensify. This promotes the development of the porous structure of the activated carbon, but is accompanied by a decrease in the yield of the solid product. The composition of the gas released during the activation of adsorbents is presented in Table 2.

The gas phase during the carbonization and activation of sawdust is predominantly H_2 and N_2. With increasing temperature and the use of KOH, the content of CO, CO_2, and CH_4 increases, indicating intensification of gasification processes and chemical etching of the carbon

matrix. These changes confirm the development of the porous structure of activated carbons during high-temperature activation. Table 3 shows the physicochemical properties of the adsorbents.

Table 2 - Composition of the gas released during the activation of adsorbents

№	Temperature	Concentration of gases released during activation, %					
		H2	O2	N2	CO2	CO	CH4
Carbonization of wood sawdust at 550 °C							
1	200	34.65	18.96	46.39	-	-	-
2	300	37.49	11.66	50.85	-	-	-
3	400	29.89	12.52	50.10	5.21	2.28	-
4	500	31.32	11.74	49.60	5.63	1.71	-
5	600	35.84	11.65	49.78	2.67	0.06	-
6	700	34.65	18.96	46.39	-	-	-
7	800	37.49	11.66	50.85	-	-	-
8	900	29.89	12.52	50.10	5.21	2.28	-
AC-1							
1	200	32.39	18.86	48.75	-	-	-
2	300	19.37	7.69	72.94	-	-	-
3	400	29.11	19.52	51.34	0.03	-	-
4	500	27.16	18.95	51.04	1.49	-	1.36
5	600	26.85	19.42	52.05	0.71	0.24	0.73
6	700	32.59	15.89	46.92	0.83	2.51	1.26
7	800	48.06	12.36	32.03	0.97	5.05	1.53
8	900	46.82	12.27	35.44	0.63	4.74	0.73
AC-2							
1	200	23.21	21.21	55.45	0.13	-	-
2	300	25.53	19.72	54.23	0.58	-	-
3	400	29.31	14.03	55.71	0.95	-	-
4	500	31.25	15.65	52.77	0.33	-	-
5	600	32.62	18.50	55.75	0.30	1.63	0.12
6	700	25.84	16.28	55.38	0.40	2.09	0.09
7	800	27.45	14.08	53.82	1.15	2.15	1.35
8	900	26.78	18.52	52.31	0.87	1.52	-
AC-3							
1	200	20.44	25.11	54.45	-	-	-

2	300	25.41	25.85	48.74	-	-	-
3	400	39.18	16.03	44.73	0.06	-	-
4	500	32.10	18.84	48.20	0.65	-	0.21
5	600	28.23	15.04	54.81	0.84	-	1.08
6	700	32.03	12.36	48.06	0.97	5.05	1.53
7	800	33.26	12.65	47.27	0.86	4.98	1.84
8	900	35.54	12.27	46.82	0.63	4.74	-
AC-4							
1	200	29.86	19.63	50.51	-	-	-
2	300	15.33	20.30	64.37	-	-	-
3	400	22.02	19.84	58.14	-	-	-
4	500	19.78	20.65	56.36	0.05	3.16	-
5	600	26.14	20.52	53.28	0.06	-	-
6	700	22.92	18.97	49.16	8.95	-	-
7	800	28.52	20.06	45.51	5.09	0.61	0.21
8	900	27.48	21.33	49.08	1.54	0.30	0.27
AC-5							
1	200	32.81	18.61	48.03	0.55	-	-
2	300	32.44	17.24	50.32	-	-	-
3	400	31.32	19.18	49.51	0.08	-	-
4	500	31.14	19.41	49.19	0.26	-	-
5	600	31.74	19.00	49.15	0.11	-	-
6	700	46.14	11.49	33.01	2.57	3.02	6.77
7	800	29.21	19.23	48.40	1.17	0.42	1.57
8	900	33.46	16.44	42.60	2.46	0.58	4.46

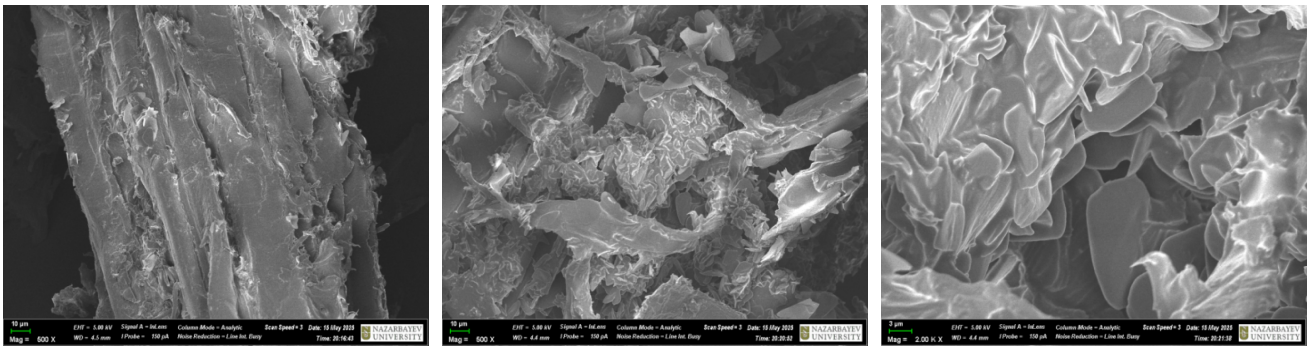
Table 3 - Physicochemical properties of adsorbents

Name of the adsorbent	**W^rt,%**	**A^r,%**	**V^d, %**	**VΣ (water), cm^3/g**	**rbulk, g/cm^3**	**pHa-queous extract**	***Am.o.*, mg/g**	**Am.b., mg/g**	**Aiodine, %**	**C, %**	**S, %**
AC-1	11.6485	10.6394	39.8985	1.34	0.36	6.42	20	55.5	33.02	35.6849	0.1289
AC-2	14.9856	17.4080	29.5104	0.47	0.43	8.13	16	43.5	36.83	49.6151	0.5081
AC-3	47.2916	9.7137	30.1872	0.55	0.39	7.94	16	51.5	35.56	48.552	0.4754
AC-4	27.0063	52.9835	37.1542	0.93	0.33	7.68	17	46.5	39.37	49.7723	0.5592
AC-5	40.7749	11.6485	25.9925	0.67	0.35	7.25	19	42.5	43.18	49.7936	0.5460

Sample AC-1, obtained without chemical activation, is characterized by a low BET specific surface area (38.9 m²/g) and comparatively low iodine adsorption activity (33.0%), indicating a poorly developed porous structure. The addition of KOH leads to a sharp increase in porosity and adsorption properties: for AC-2 and AC-3, the specific surface area increases to 390.22 and 314.36 m²/g, respectively, and the carbon content rises to 49.6 and 48.6%.

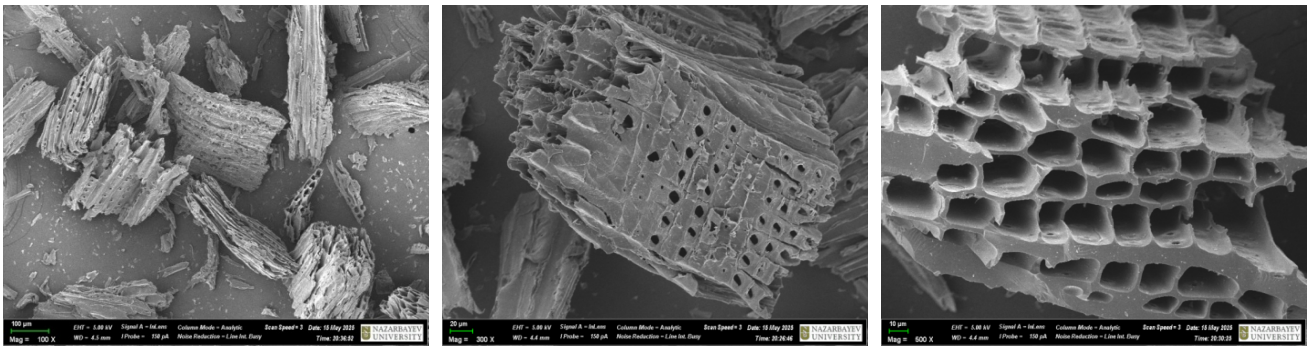
The maximum adsorption characteristics are observed for sample AC-5, for which S_{BET} reaches 776.0 m²/g and iodine adsorption activity is 43.2%, which is due to the intense chemical etching of the carbon matrix with a high KOH content. Moreover, the pH of the aqueous extracts of all samples is in the slightly alkaline-neutral range (6.4–8.1), confirming the practical application of the resulting adsorbents for water purification.

Figure 3 shows an SEM image of the original sawdust before processing. The natural structure of the wood is visible, with dense, relatively smooth surfaces and fragments of cell walls. The pores are not yet open, and the texture is more solid and compact. This morphology is characteristic of unprocessed biomaterial, which preserves the natural structure of the cellulose-lignin complex, providing mechanical strength and low porosity to the material.



a **b** **c**

Fig.3 - Micrograph of the original sawdust: a,b-x500; c-x2 000



a **b** **c**

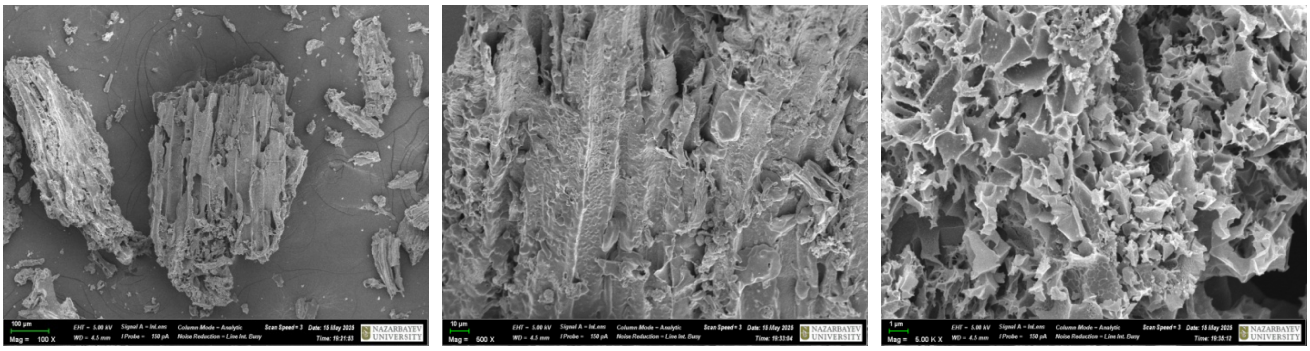
Fig.4 - SEM image of the adsorbent AC-1: a-x100; b-x300; c-x500

Figure 4 shows an SEM image of activated sawdust obtained after alkaline treatment and thermal activation. Compared to the original material (Fig.3), a significant change in surface morphology is observed: the structure becomes loose, with a distinct system of pores of varying sizes. The appearance of micropores and mesopores indicates the destruction and combustion of the

organic matrix under the action of the activator, which contributes to an increase in the specific surface area. The surface acquires a spongy, heterogeneous structure characteristic of carbon adsorbents, confirming the successful formation of a developed porous network during the activation process.

Figure 4 shows large, regular, honeycomb-like cellular channels. These are the vascular elements of the wood, which become clearly visible after activation. Activation removes some organic matter and opens the pores, increasing the specific surface area. The porous structure creates favorable conditions for adsorption.

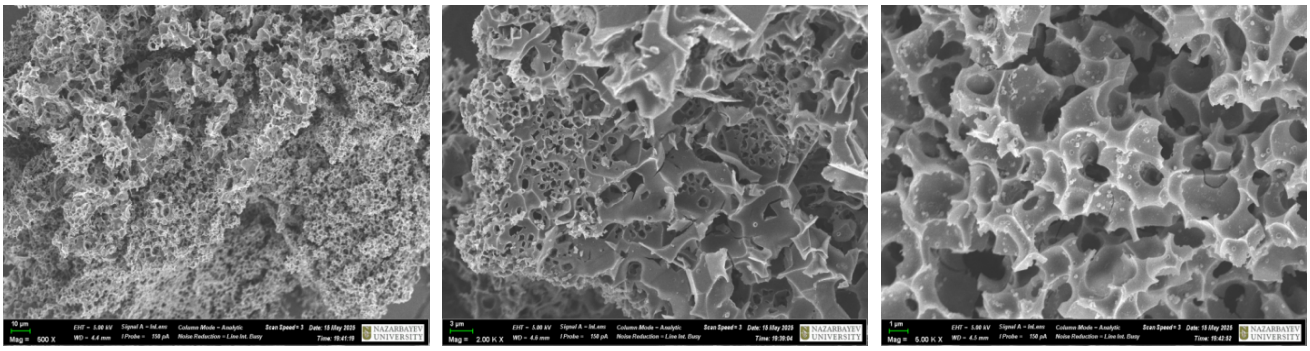
This structural modification increases the specific surface area and makes active sorption sites more accessible, significantly enhancing the adsorption properties of the material. Thus, activation of rice husk results in the formation of a structurally developed porous adsorbent, promising for use in water and gas purification processes.



a **b** **c**

Fig.5 - SEM image of the adsorbent AC-2: a-x100; b-x500; c-x5 000

When sawdust is treated with potassium hydroxide in a 1:1 ratio, intense etching of the walls and the formation of micro- and mesopores occurs. As a result, the activated material acquires a well-developed surface area and becomes a highly porous carbon adsorbent (Figure 5).

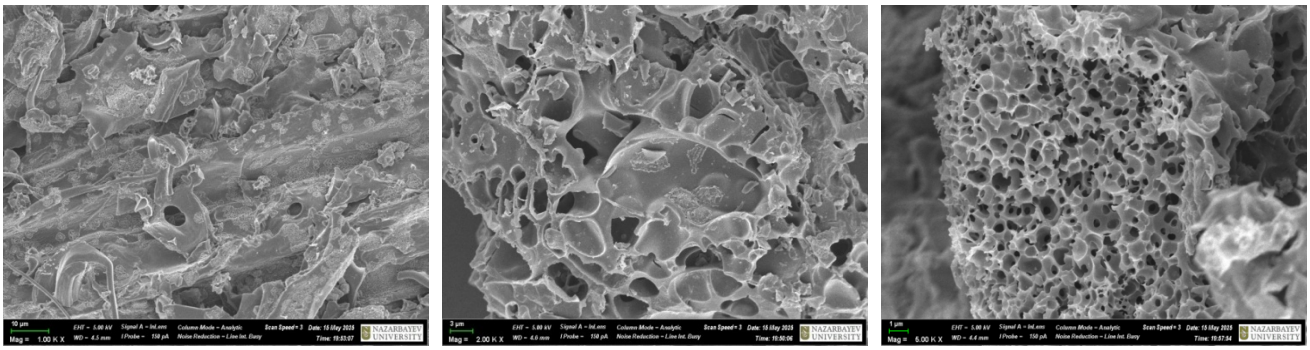


a **b** **c**

Fig.6 - SEM image of the adsorbent AC-3: a-x500; b-x2 000; c-x5 000

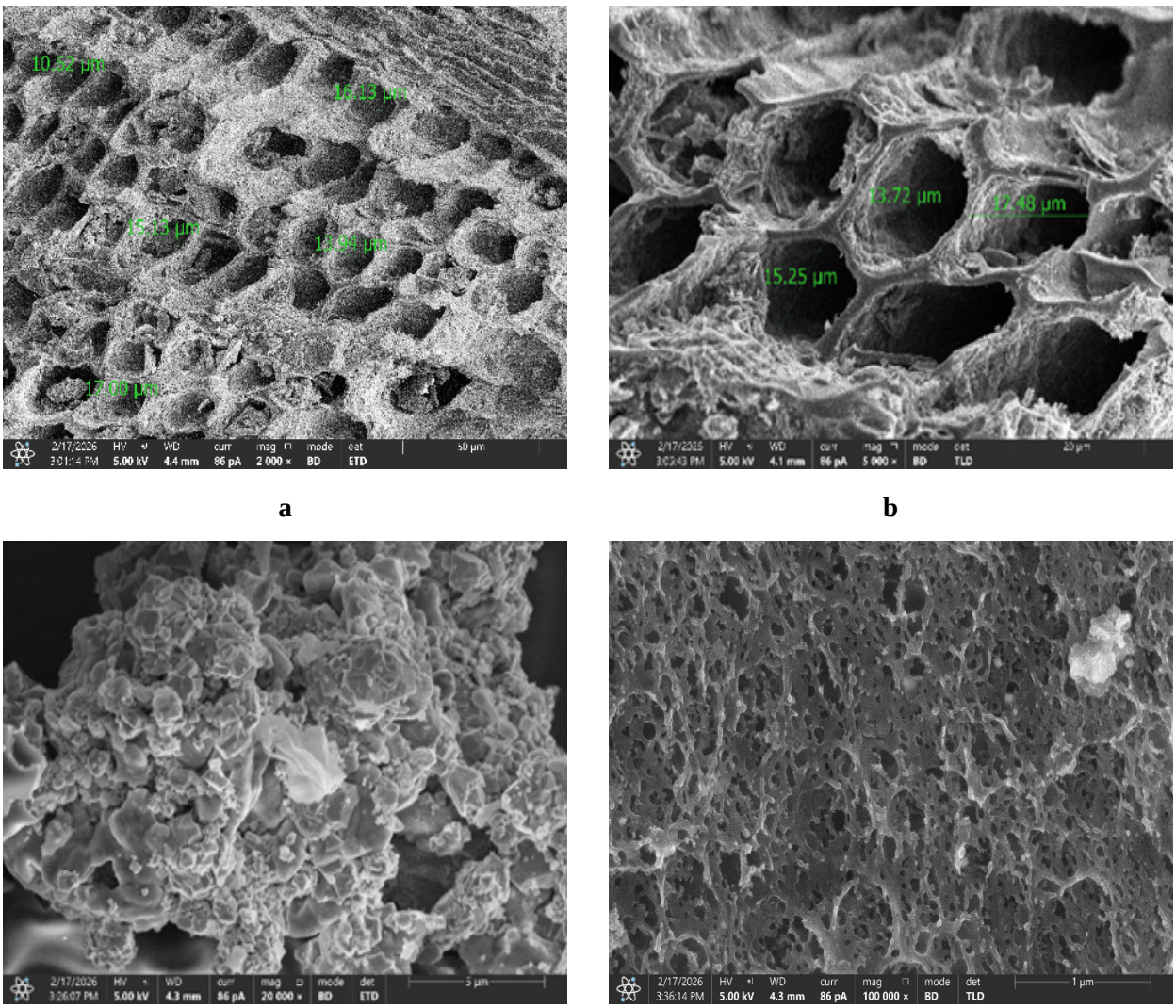
The SEM image reveals a highly developed porous structure. The surface is characterized by a large number of damaged areas and through pores, indicating intensive exposure to the activator. The material appears looser, with numerous micro- and mesopores, which contributes to an increased

specific surface area and enhanced adsorption capacity. However, excessive activation can lead to partial destruction of the matrix (Figure 6).



a **b** **c**

Fig.7 - SEM image of the adsorbent AC-4: a-x1 000; b-x2 000; c-x5 000



a **b**

c **d**

Fig.8 - SEM image of the adsorbent AC-5: a-x2 000; b-x5 000; c-x20 000; d-x100 000

The overall structure retains a more coherent framework compared to variant 1/2. The pores are more evenly distributed, with both small and medium pores visible, but their number is smaller. The surface is less disrupted, indicating a gentler effect of the activator (Figure 7).

Figure 8 shows SEM images of the AC-5 adsorbent at various magnifications. The material is characterized by a developed porous structure with a system of interconnected pores and pronounced surface roughness. Hierarchical porosity is observed, including macro- and mesopores, as well as small surface defects formed during chemical activation. This morphology ensures efficient mass transfer and adsorbate access to active sites. SEM analysis confirms that the AC-5 adsorbent has a developed porous architecture with a high degree of structural heterogeneity, which, combined with an increased degree of graphitization, creates favorable conditions for the efficient adsorption and diffusion of molecules within the material.

The elemental composition of the samples is presented in Table 4.

Table 4 - Results of elemental analysis of samples

Name of the adsorbent	Elemental composition, wt.%										
	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	Cl	Cu
Raw wood sawdust	68.45	31.55	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AC-1	99.63	-	-	-	-	-	0.11	0.26	-	-	-
AC-2	83.10	14.60	0.15	0.11	0.07	0.33	1.43	-	-	0.08	0,05
AC-3	88.40	10.90	0.07	0.07	-	0.21	0.31	-	-	-	-
AC-4	50.30	37.80	0.48	-	0.14	0.04	10.7	-	0.47	-	-
AC-5	85.90	11.10	-	0.10	-	0.10	0.10	1.00	1.40	0.10	-

Elemental analysis revealed that carbonization and chemical activation of wood biomass significantly alter its composition. The original sawdust contained 68.45% carbon and 31.55% oxygen, while the resulting adsorbents were characterized by increased carbon content: AC-1 – 99.63%, AC-2 – 83.10%, AC-3 – 88.40%, and AC-5 – 85.90%, while the oxygen content decreased. The adsorbents retained mineral components (Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Fe, etc.), which were most pronounced in samples AC-2, AC-4, and AC-5. Thus, the AC-5 adsorbent contains Mg (0.10%), Si (0.10%), K (0.10%), Ca (1.00%), Fe (1.40%), and Cl (0.10%), indicating the formation of a functionally active surface. The obtained data confirm that carbonization and chemical activation effectively modify biomass, ensuring the formation of a developed carbon matrix and the production of highly effective carbon adsorbents.

Figure 9 shows the Raman spectra of five adsorbents (AC-1, AC-2, AC-3, AC-4, AC-5). All spectra clearly exhibit two characteristic bands: D (1350 cm ^{1}), corresponding to defective and amorphous carbon, and G (1580 cm ^{1}), reflecting the presence of an ordered graphite structure. Comparison of the ID/IG intensity ratio shows that AC-1 and AC-2 are characterized by higher values, indicating a low degree of graphitization and a significant content of defective carbon. For AC-3 and AC-4, the ID/IG ratio decreases, indicating the formation of a more ordered carbon structure. The spectra of AC-3 and AC-4 also exhibit weak bands in the region of 2700 cm ^{1} (2D), indicating the presence of graphite-like regions. Graphitization analysis revealed the following values: AC-1 – 19.3%, AC-2 – 27.4%, AC-3 – 25.0%, AC-4 – 25.9%, and AC-5 – 34.4%. Adsorbent AC-5 is characterized by the

highest degree of graphitization and the lowest ID/IG ratio, indicating a significant reduction in the proportion of defective carbon and an increase in the size of graphite domains. A more pronounced 2D band confirms the formation of a highly organized carbon structure. Thus, Raman analysis demonstrates that optimization of carbonization and chemical activation conditions contributes to a reduction in defects, an increase in the degree of graphitization, and the formation of a porous carbon matrix with improved structural and adsorption characteristics.

The adsorption characteristics of the adsorbents are presented in Figure 10 and Table 5.

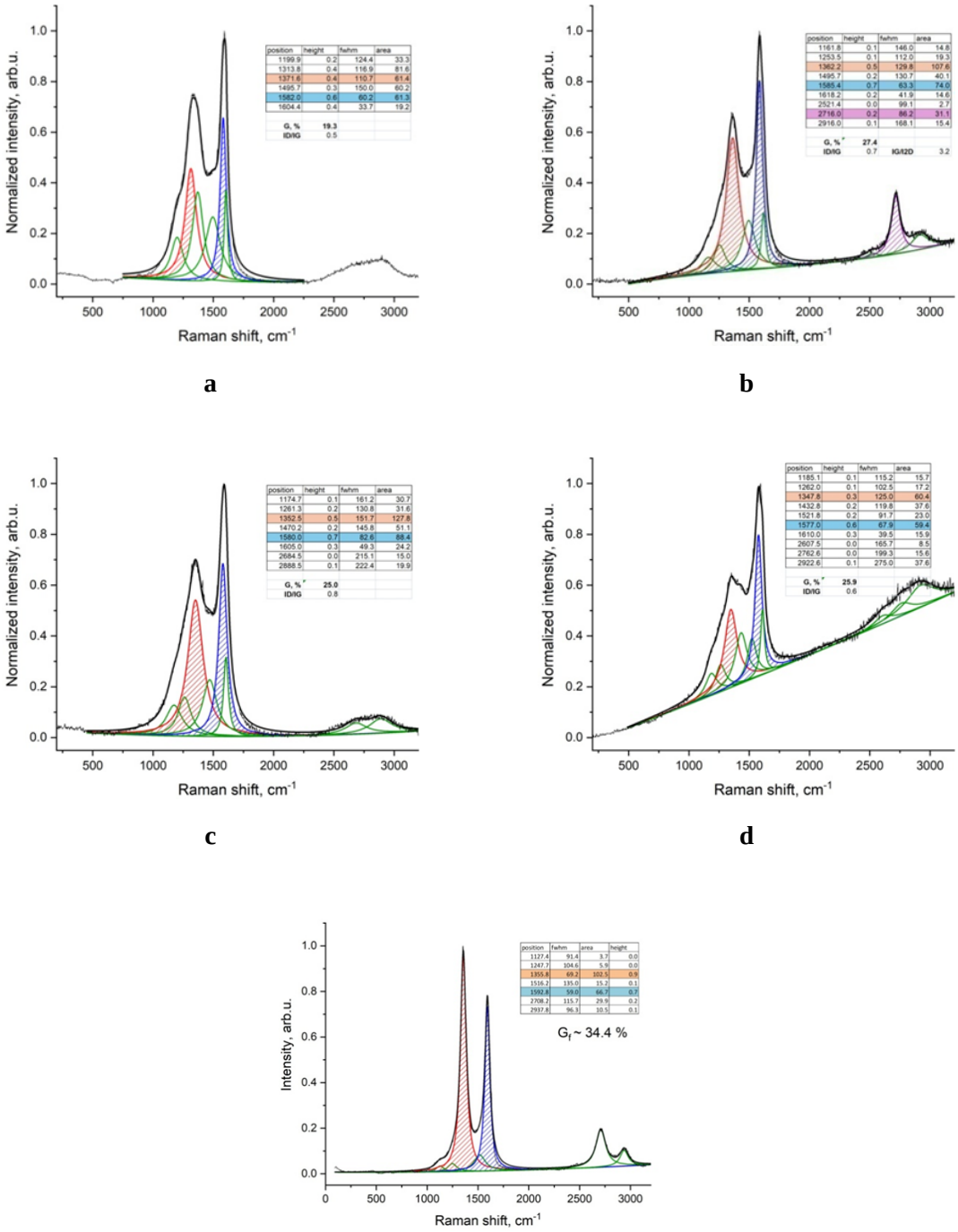
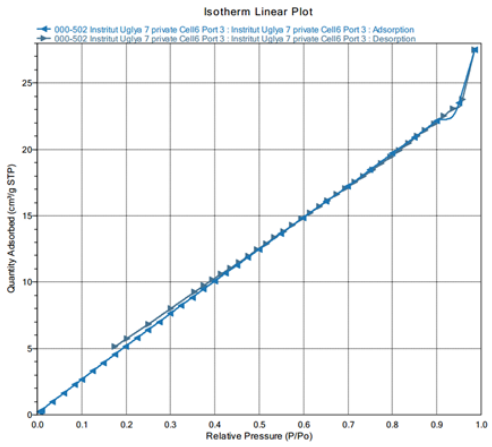


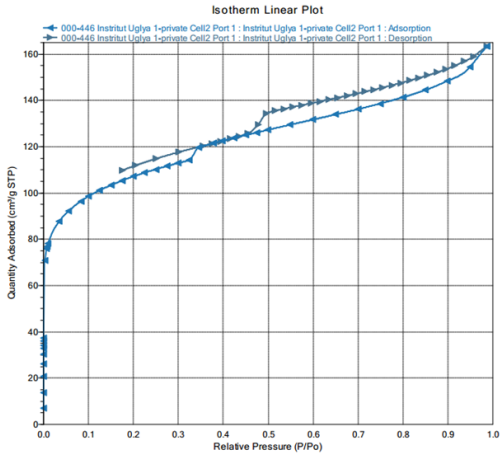
Fig.9 - Raman spectrum of adsorbents: a-AC-1; b-AC-2; c-AC-3; d-AC-4; e-AC-5

Table 5 - Adsorption characteristics of adsorbents

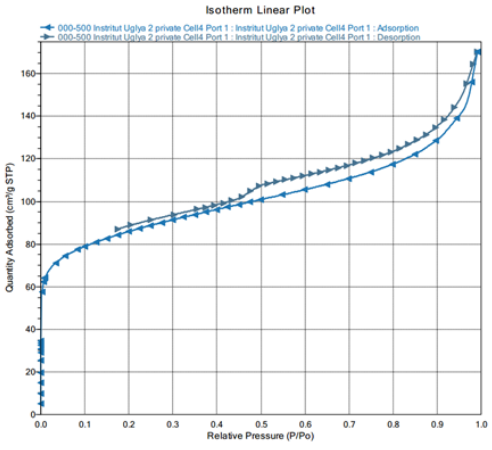
Characteristics	Adsorbents				
	AC-1	**AC-2**	**AC-3**	**AC-4**	**AC-5**
Surface area at a single point at p/p0 = 0.20000 (m^2/g)	36.90	372.50	85.89	400.00	499.00
BET surface area (m^2/g)	38.88	390.22	314.36	568.00	610.11
Langmuir surface area (m^2/g)	59.60	420.10	485.00	610.00	640.00
t-Plot Micropore area (m^2/g)	0.00	210.80	245.13	420.00	499.34
Total pore volume at p/p0 = 0.99000 (cm^3/g)	0.042	0.253	0.170	0.4532	0.3852
Average pore diameter (4V/A) (nm)	4.20	2.60	2.17	3.00	2.52
BJH Adsorption Average pore diameter (nm)	3.60	5.13	3.20	3.12	3.80
Micropore volume (cm^3/g)	-	0.087	0.064	0.182	0.076
Average pore diameter (nm)	-	1.60	0.62	0.68	0.78



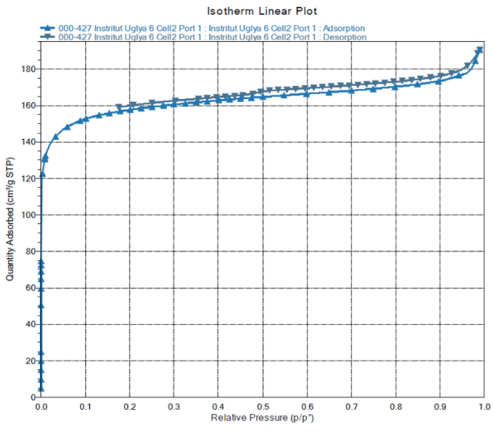
a



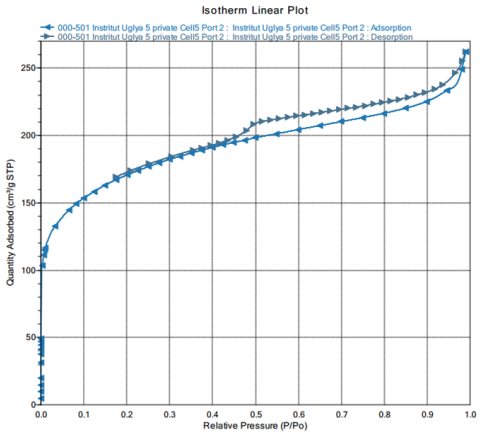
b



c



d



e

Fig.10 - Graph of adsorbent isotherms: a-AC-1; b-AC-2; c-AC-3; d-AC-4; e-AC-5

The types of adsorption–desorption isotherms are presented in Figure 11.

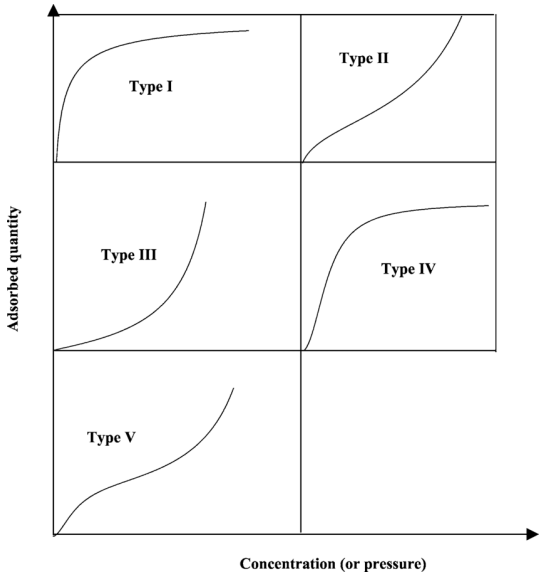
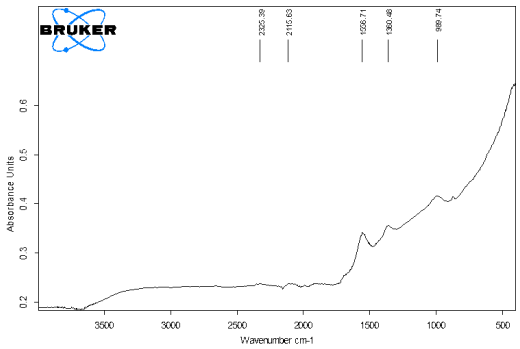
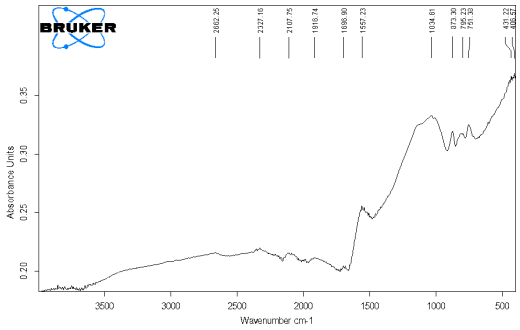
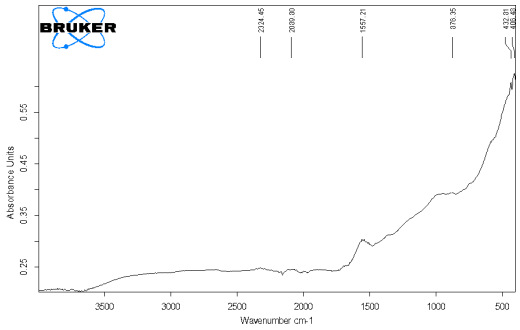


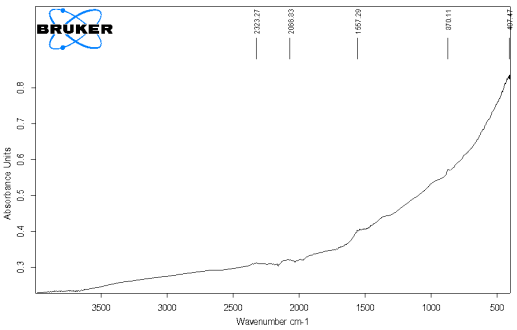
Fig.11 - Types of adsorption-desorption isotherms

The results of texture analysis show that the AC-1 adsorbent is characterized by type II isotherms, a low specific surface area (≈40 m²/g), and a small pore volume, indicating a poorly developed porous structure with a predominance of meso- and macropores. Analysis of the presented adsorption-desorption isotherm shows that the AC-4 adsorbent belongs to type I according to the IUPAC classification. This is confirmed by a sharp increase in the volume of adsorbed nitrogen in the region of low relative pressures ($p/p_0 < 0.1$), indicating intensive filling of micropores. With a further increase in pressure, the curve gradually reaches a plateau, which is typical of materials with a limited pore volume. The absence of a pronounced hysteresis loop indicates an insignificant proportion of mesopores. Thus, the studied adsorbent is predominantly a microporous material with a developed specific surface area. Adsorbents AC-2, AC-3, and AC-5 belong to type V isotherms and are characterized by a high specific surface area (314–610 m²/g) and a significant contribution of micropores. The most developed microporous structure is observed in AC-5, as evidenced by the

highest values of SBET and pore volume. These adsorbents possess increased adsorption capacity and are more promising for practical applications.

Table 6 - IR spectra of the obtained samples

№	Name of samples	Interpretation
1	AC-2 	2350–2320 cm ¹ – weak bands, possibly CO_2 or C≡N (low intensity, background absorption) 2120–2110 cm ¹ – ≡C–C≡ or –N=C=O vibrations 1600–1550 cm ¹ – bending vibrations of aromatic rings or N–H groups 1400–1350 cm ¹ – C–N or SO_2 vibrations 1000–990 cm ¹ – aromatic substitutions, possible C–H deformations
2	AC-3 	2660–2665 cm ¹ – C–H stretching vibrations (aldehydes, carboxylic acids) 2330–2325 cm ¹ – CO_2 or isocyanate bands (weak intensity, background absorption) 2110–2105 cm ¹ – C≡C or –N=C=O triple bonds 1920–1915 cm ¹ – Combination vibrations of aromatic compounds 1700–1695 cm ¹ – C=O carbonyl group stretching vibrations 1560–1555 cm ¹ – Bending vibrations of aromatic rings or N–H 1040–1030 cm ¹ – C–O or S=O stretching vibrations 875–750 cm ¹ – Deformation vibrations of aromatic rings 430–405 cm ¹ – metal-oxygen bonds
3	AC-4 	2330–2320 cm ¹ – possible vibrations of CO_2 or isocyanate groups (–N=C=O, weak intensity) 2090–2085 cm ¹ – triple bonds (–C≡C–, –N=C=O) 1560–1555 cm ¹ – bending vibrations of aromatic rings or N–H 880–870 cm ¹ – =C–H deformations, characteristic of colored polymers 435–405 cm ¹ – metal–oxygen vibrations (Si–O, Al–O), indicate the presence of an inorganic filler

4	AC-5 	2325–2320 cm ¹ – possible vibrations of CO_2 or isocyanate groups (–N=C=O, weak intensity) 2070–2065 cm ¹ – triple bonds (–C≡C–, –N=C=O) 1560–1555 cm ¹ – bending vibrations of aromatic rings or N–H 875–865 cm ¹ – =C–H deformations, characteristic of colored polymers

IR spectroscopic studies of the resulting adsorbents were conducted at the Research Institute of Ecology and Sustainable Use of Bioresources of Al-Farabi Kazakh National University using a Bruker Alpha II laboratory IR spectroscopic instrument. The results are presented in Table 6.

Of the adsorbents obtained, AC-2 was selected for wastewater treatment because it possesses an optimal combination of a developed porous structure and surface functional activity sufficient for the effective binding of pollutants. An additional advantage of AC-2 is its cost-effectiveness and environmental safety: the adsorbent is based on sawdust impregnated with KOH in a 1:1 ratio, ensuring the availability of raw materials, low cost, and the absence of toxic components in the material.

Wastewater collected from the wastewater treatment plant of the Astana Su Arnasy State Enterprise (Astana) was used for testing. Chemical analysis of the samples was conducted in the enterprise' s accredited analytical laboratory. Based on the analysis results, purification rates for key indicators were calculated and compared with current wastewater quality standards. Table 7 presents the results of the chemical analysis of wastewater from the Astana Su Arnasy State Enterprise before and after treatment with the activated adsorbent AC-2. Figure 12 shows the wastewater treatment sample used in this study.



Figure 12 – Wastewater treatment sample

After treatment with the AC-2 adsorbent, a significant reduction in most pollutants was observed. For example, BOD decreased from 200.0 to 35.0 mgO/dm³, corresponding to 82.5% purification efficiency, and COD decreased from 444.0 to 123.0 mgO/dm³ (72.3%), demonstrating the high adsorption capacity of AC-2 for organic compounds. Suspended solids decreased by 30.9%, indicating partial removal of colloidal and suspended particles.

Metals and inorganic components also showed varying degrees of removal: iron decreased from 2.35 to 0.65 mg/dm³ (73.3%), and phosphates by 17.7%. The adsorbent demonstrated the highest efficiency for surfactants and petroleum products, with removal rates of 94.4% and 90.4%, respectively, confirming the potential of AC-2 for wastewater treatment of surfactants and hydrocarbon contaminants.

Table 7 – Results of chemical analysis of wastewater from Astana Su Arnasy before and after treatment with activated adsorbents AC-2

Name of indicators	*Standards according to regulatory documents (after biological treatment)*	Actual conc. before cleaning	Actual conc. after purification	Degree of purification, %
			AC-2	AC-2
pH	*6-9*	7.87	8.11	8.11
BOD (biological oxygen demand), mgO/dm^3	≤ 15	200.0	35.0	82.5
COD (chemical oxygen demand), mgO/dm^3	≤30	444.0	123.0	72.3
Suspended solids, mg/dm^3	≤ 15	139.0	96.0	30.9
Sulfates, mg/dm^3	≤ 500 *(average standard according to SNiP and SanPiN for wastewater)*	198.0	222.0	-
Ammonium nitrogen, mg/dm^3	≤2.0	46.38	33.58	27.6
Nitrites, mg/dm^3	≤ 0.08	0.073	0.34	-
Nitrates, mg/dm^3	≤ 40	0.66	0.34	48.5
Iron, mg/dm^3	≤ 0.3	2.35	0.65	73.3
Phosphates, mg/dm^3	≤2.0	13.05	10.75	17.7
Surfactants, mg/dm^3	≤ 0.5	6.81	0.38	94.42
Petroleum products, mg/dm^3	≤0.3	27.87	2.68	90.4

Some parameters, such as sulfates, ammonium nitrogen, and nitrites, showed either a slight decrease or even an increase in concentration after treatment (for example, nitrites increased from 0.073 to 0.34 mg/dm³). This may be due to the conversion of some compounds into other forms as a result of a chemical reaction with the adsorbent or a change in the pH of the medium, which after treatment was 8.11, remaining within acceptable limits (6-9).

Overall, the use of the AC-2 adsorbent demonstrated high efficiency in removing organic contaminants, petroleum products, and surfactants, as well as a partial reduction in the concentration

of inorganic components. These results confirm the feasibility of using the obtained activated carbon for wastewater treatment, especially with high concentrations of organics and petroleum products.

Conclusion. The study demonstrated that wood sawdust is an effective and affordable raw material for producing activated carbon adsorbents. It was found that the combination of carbonization at 550°C and chemical activation with KOH at 900°C resulted in the formation of a developed porous structure and a significant increase in the specific surface area of the material.

Increasing the KOH/biomass ratio intensifies the chemical etching of the carbon matrix, reduces the yield of the solid product, and simultaneously increases the specific surface area and micropore volume. The maximum textural characteristics were recorded for sample AC-5, but the optimal combination of porous structure, surface functional activity, and product yield was characteristic of adsorbent AC-2. SEM, elemental analysis, Raman spectroscopy, and IR spectroscopy confirmed the formation of a carbon framework with developed micro- and mesoporosity, the presence of surface functional groups, and an increased degree of graphitization. Practical testing of the AC-2 adsorbent in wastewater treatment demonstrated high efficiency in removing organic pollutants, petroleum products, and surfactants (up to 90–94%).

Thus, the resulting sawdust-based activated carbons are promising adsorbents for use in wastewater treatment technologies and can be considered an environmentally and economically viable alternative to industrial carbon sorbents.

Funding. *This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR24992833 "Developing chemical and biochemical solutions to reduce carbon footprints and restore ecosystems through waste recycling").*

References

1. Malini K., Selvakumar D., Kumar N.S. Activated carbon from biomass: Preparation, factors improving basicity and surface properties for enhanced CO_2 capture capacity – A review// Journal of CO_2 Utilization.-2023.- Vol.67:102318. DOI 10.1016/j.jcou.2022.102318.

2. Reza M.S., Yun C.S., Afroze S., Radenahmad N., Bakar M.S.A., Saidur R., Azad A.K. Preparation of activated carbon from biomass and its' applications in water and gas purification, a review// Arab Journal of Basic and Applied Sciences.- 2020.- Vol.27(1). -P.208-238. DOI 10.1080/25765299.2020.1766799.

3. Ukanwa K.S., Patchigolla K., Sakrabani R., Anthony E., Mandavgane S. A review of chemicals to produce activated carbon from agricultural waste biomass// Sustainability.- 2019.- Vol.11(22):6204. DOI 10.3390/su11226204.

4. Maniarasu R., Rathore S.K., Murugan S. Biomass-based activated carbon for CO_2 adsorption – A review// Energy & Environment.- 2023.- Vol.34(5). -P.1674-1721. DOI 10.1177/0958305X221093465.

5. Jedynak K., Charmas B. Adsorption properties of biochars obtained by KOH activation// Adsorption.-2024.-Vol. 30.-P.167–183. DOI 10.1007/s10450-023-00399-7.

6. Spessato L., Bedin K.C., Cazetta A.L., Souza I.P., Duarte V.A., Crespo L.H., Almeida V.C. KOH-super activated carbon from biomass waste: Insights into the paracetamol adsorption mechanism and thermal regeneration cycles//Journal of hazardous materials. -2019.-Vol.371. P.499-505. DOI 10.1016/j.jhazmat.2019.02.102.

7. Nandi R., Jha M.K., Guchhait S.K., Sutradhar D., Yadav S. Impact of KOH activation on rice husk derived porous activated carbon for carbon capture at flue gas alike temperatures with high CO_2/N_2 selectivity// ACS omega.- 2023.- Vol.8(5). -P.4802-4812. DOI 10.1021/acsomega.2c06955.

8. Arman M., Sabara Z., Arief T. The Effect of Pyrolysis Temperature on Sawdust-Biomass Activated Carbon Using NaOH and NaCl Activators// Engineering Journal. -2024.- Vol.28(8).-P.1-11. DOI 10.4186/ej.2024.28.8.1.

9. Li S., Han K., Li J., Li M., Lu C. Preparation and characterization of super activated carbon produced from gulfweed by KOH activation// Microporous and Mesoporous Materials. -2017.-Vol.243. -P. 291-300. DOI 10.1016/j.micromeso.2017.02.052.

10. Šćiban M., Klašnja M., Škrbić B. Modified softwood sawdust as adsorbent of heavy metal ions from water// Journal of hazardous materials. - 2006.-Vol.136(2). –P.266-271. DOI 10.1016/j.jhazmat.2005.12.009.

11. Chikri R., Elhadiri N., Benchanaa M., El Maguana Y. Efficiency of sawdust as low-cost adsorbent for dyes removal// Journal of Chemistry.- 2020.- Vol.2020(1): 8813420. DOI 10.1155/2020/8813420.

12. Aragaw T.A., Bogale F.M. Biomass-based adsorbents for removal of dyes from wastewater: a review// Frontiers in Environmental Science.- 2021.-Vol.9:764958. DOI 10.3389/fenvs.2021.764958.

13. Ahmad T., Rafatullah M., Ghazali A., Sulaiman O., Hashim R. Oil palm biomass – Based adsorbents for the removal of water pollutants – A review// Journal of Environmental Science and Health, Part C.- 2011.-Vol.29(3). -P.177-222. DOI 10.1080/10590501.2011.601847.

14. Hashmi Z., Jatoi A.S., Nadeem S., Anjum, A., Imam S.M., Jangda H. Comparative analysis of conventional to biomass-derived adsorbent for wastewater treatment: a review// Biomass Conversion and Biorefinery.- 2022.- Vol.14(1). -P.45-76. DOI 10.1007/s13399-022-02443-y.

15. Mandal A., Singh N. Optimization of atrazine and imidacloprid removal from water using biochars: Designing single or multi-staged batch adsorption systems// International Journal of Hygiene and Environmental Health.- 2017.-Vol.220(3). -P.637-645. DOI 10.1016/j.ijheh.2017.02.010.

16. Savova D., Apak E., Ekinci E., Yardim F., Petrov N., Budinova T., Razvigorova M., Minkova V. Biomass conversion to carbon adsorbents and gas// Biomass and Bioenergy. - 2001.- Vol.21(2). -P.133-142. DOI 10.1016/S0961-9534(01)00027-7.

17. Zhou X.L., Zhang H., Shao L.M., Lü F., He P.J. Preparation and application of hierarchical porous carbon materials from waste and biomass: a review// Waste and Biomass Valorization. - 2021.-Vol.12. –P.1699-1724. DOI 10.1007/s12649-020-01109-y.

18. Wang H., Shan L., Lv Q., Cai S., Quan G., Yan J. Production of hierarchically porous carbon from natural biomass waste for efficient organic contaminants adsorption// Journal of Cleaner Production.- 2020.-Vol.263: 121352. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.121352.

Information about the authors

Kazankapova M.K. - PhD in Philosophy, Associate Professor, Corresponding Member of KazNANS, Leading Researcher, Deputy Director for Science and Innovation of LLP ”Institute of Coal Chemistry and Technology”, Astana, Kazakhstan, e-mail: maira_1986@mail.ru;

Yermagambet B.T. - Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of KazNANS, Project Manager, Chief Researcher, Director of LLP ”Institute of Coal Chemistry and Technology”, Astana, Kazakhstan, e-mail: coaltech@bk.ru;

Malgazhdarova A.B. - Senior Researcher, Head of Laboratory «Institute of Coal Chemistry and Technology», Master of Natural Science, Astana, Kazakhstan, e-mail: malgazhdarova.ab@mail.ru;

Akshekina A.S. - Junior Researcher «Institute of Coal Chemistry and Technology», Bachelor of Natural Science, Astana, Kazakhstan, e-mail: akshekina11@gmail.com;

Kassenova Zh.M. - Candidate of Chemical Sciences (PhD), Associate Professor, Member of KazNANS, Leading Researcher, Deputy Director for Commercialization of LLP ”Institute of Coal Chemistry and Technology”, Astana, Kazakhstan, e-mail: zhanar_k_68@mail.ru;

Akimbekov N.S. - PhD, Professor, Chief Researcher, Scientific Research Institute of Ecology and Sustainable Development of Bioresources, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, akimbeknur@gmail.com;

Tastambek K.T. - PhD, Chief Researcher, Director, Scientific Research Institute of Ecology and Sustainable Development of Bioresources, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, tastambeku@gmail.com;

Malik A.M. - PhD, Assistant Professor, Leading Researcher, Scientific Research Institute of Ecology and Sustainable Development of Bioresources, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: azhar.malikkyzy@gmail.com;

Kozhakhmetova M.H.- PhD, Researcher, Scientific Research Institute of Ecology and Sustainable Development of Bioresources, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: kozhakhmetova143@gmail.com;

Kozhamuratova U.M. - Master of Natural Science, Senior Researcher, Scientific Secretary, «Institute of Coal Chemistry and Technology», Astana, Kazakhstan, e-mail: kozhamuratova.u@mail.ru;

Kaliyev K.B. - Senior Manager, Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan, e-mail: kuat.kaliyev@nu.edu.kz;

Bakhytuly N. - Head of the Laboratory of Physical Methods of Analysis Institute of Metallurgy and Ore, Almaty, Kazakhstan, e-mail: Nauka-PhD@mail.ru.

Сведения об авторах

Казанкапова М.К. - PhD, асс. профессор, чл.-корр. КазНАЕН, ведущий научный сотрудник, заместитель директора по науке и инновациям ТОО «Институт химии и технологии угля», Астана, Казахстан, e-mail: maira_1986@mail.ru;

Ермагамбет Б.Т. - доктор химических наук, профессор, академик КазНАЕН, руководитель проекта, главный научный сотрудник, директор ТОО «Институт химии и технологии угля», Астана, Казахстан, e-mail: coaltech@bk.ru;

Малғаждарова А.Б. - старший научный сотрудник, заведующий лабораторией ТОО «Институт химии угля и технологии», магистр естественных наук, Астана, Казахстан, e-mail: malgazhdarova.ab@mail.ru;

Акшекина Ә.С. - младший научный сотрудник ТОО «Институт химии угля и технологии», бакалавр естественных наук, Астана, Казахстан, e-mail: akshekina11@gmail.com;

Касенова Ж.М. - кандидат химических наук (PhD), асс. профессор, член КазНАЕН, ведущий научный сотрудник, заместитель директора по коммерциализации ТОО «Институт углехимии и технологии», Астана, Казахстан, e-mail: zhanar_k_68@mail.ru;

Акимбеков Н.Ш. - PhD, профессор, главный научный сотрудник, Научно исследовательский институт экологии и устойчивого развития биоресурсов, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, akimbeknur@gmail.com;

Тастамбек К.Т. - PhD, главный научный сотрудник, директор, Научно исследовательский институт экологии и устойчивого развития биоресурсов, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, tastambeku@gmail.com;

Мәлік А.М. - PhD, ассистент-профессор, ведущий научный сотрудник, Научно исследовательский институт экологии и устойчивого развития биоресурсов, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: azhar.malikkyzy@gmail.com;

Кожахметова М.Х. - PhD, научный сотрудник, Научно исследовательский институт экологии и устойчивого развития биоресурсов, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: kozhakhmetova143@gmail.com;

Қожамұратова Ұ.М. - старший научный сотрудник, ученый секретарь ТОО «Институт химии угля и технологии», магистр естественных наук, Астана, Казахстан, e-mail: kozhamuratova.u@mail.ru;

Калиев К.Б. - старший менеджер, Назарбаев университет, Астана, Казахстан, e-mail: kuat.kaliyev@nu.edu.kz;

Бақытұлы Н. - заведующий лабораторий «Физических методов анализа» Института металлургии и обогащения, Алматы, Казахстан, e-mail: Nauka-PhD@mail.ru.

МРНТИ 61.13.21, 50.43.15 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1394**

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПУЛЬПЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФЛОТАЦИИ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ КОНТРОЛЕ ПАРАМЕТРОВ

[1]К. Акишев ✉, [2]А. Подвалов, [1]А. Зейнуллин, [1]Е. Айбульдинов ✉, [2]А. Нурмаганбетов, [1]М. Оспанова, [2]М. Чагай, [2]М. Айтиева, [2]С. Хусаинова, [3]Н. Токтар

[1]Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
[2]ТОО AG Tech, Астана, Казахстан,
[3]Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан

✉ *Корреспондент-автор: akmail04cx@mail.ru, elaman_@mail.ru*

Актуальность исследования заключается в необходимости повышения устойчивости и селективности обогащения руды в условиях изменяющегося химического состава пульпы и требованиями по автоматизации управлением технологическими процессами. Целью работы являлась оценка влияния параметров химии пульпы на эффективность флотации, обоснования использования аналитических и интеллектуальных методов для адаптивного управления процессом.

В исследовании использованы методы онлайн-контроля pH, окислительно-восстановительного потенциала (Eh) с применением электрохимических датчиков, лабораторные анализы ионного состава жидкой фазы, аналитические и предиктивные методы обработки данных. Проведён анализ взаимосвязи между химическими параметрами пульпы и технологическими показателями флотации.

Установлено, ключевым интегральным параметром является окислительно-восстановительного потенциал Eh. Определён оптимальный диапазон Eh (−50…+150 мВ), при котором достигаются максимальные значения извлечения меди, выход за пределы данного диапазона приводит к снижению извлечения на 5–12%. Показано влияние pH (8,6–9,2) и концентраций ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} на селективность флотации, устойчивость пенного слоя. Качественно подтверждена возможность прогнозирования снижения извлечения меди с на основе анализа динамики Eh и контроля времени.

Практическая значимость работы заключается в обосновании интеграции онлайн-контроля химии пульпы и предиктивных алгоритмов в контуры АСУ-ТП флотации для повышения надежности, эффективности процесса. Дальнейшие исследования направлены на развитие soft-сенсоров, масштабирование предложенных решений для промышленных условий.

Ключевые слова: флотация, химия пульпы, окислительно-восстановительный потенциал, извлечение, онлайн-контроль, автоматизация, интеллектуальные методы

ПАРАМЕТРЛЕРДІ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН БАҚЫЛАУ КЕЗІНДЕ ЦЕЛЛЮЛОЗА ХИМИЯСЫНЫҢ ФЛОТАЦИЯ ТИІМДІЛІГІНЕ ӘСЕРІ

[1]К. Акишев ✉, [2]А. Подвалов, [2]А. Зейнуллин, [1]Е. Айбульдинов ✉, [2]А. Нұрмағанбетов, [1]М. Оспанова, [2]М. Чагай, [2]М. Айтиева, [2]С. Хусаинова, [3]Н. Токтар

[1]Қ.Құлажанова ат. Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[2]AG Tech ЖШС, Астана, Қазақстан,
[3]Торайгыров университеті, Павлодар, Қазақстан,
e-mail: akmail04cx@mail.ru, elaman_@mail.ru

Зерттеудің өзектілігі целлюлозаның өзгеретін химиялық құрамы жағдайында кенді байытудың тұрақтылығы мен селективтілігін арттыру және технологиялық процестерді басқаруды автоматтандыру талаптары болып табылады. Жұмыстың мақсаты химиясы параметрлерінің флотация тиімділігіне әсерін бағалау, процесті адаптивті басқару үшін аналитикалық және интеллектуалды әдістерді қолдану негіздемесі болды.

Зерттеуде электрохимиялық датчиктерді қолдана отырып, РН, тотығу-тотықсыздану потенциалын (Eh) онлайн бақылау әдістері, сұйық фазаның иондық құрамын зертханалық талдау, деректерді өңдеудің аналитикалық және болжамды әдістері қолданылды. Химиялық параметрлері мен флотацияның технологиялық көрсеткіштері арасындағы байланысты талдау жүргізілді.

Негізгі интегралдық параметр Eh тотығу-тотықсыздану потенциалы болып табылады. Оңтайлы eh диапазоны анықталды (-50...+150 мВ), онда мыс алудың максималды мәндеріне қол жеткізіледі, осы диапазоннан тыс шығу экстракцияның 5–12% төмендеуіне әкеледі. pH (8,6–9,2) және Ca^{2+} концент және SO_4^{2-} иондарының концентрациясының флотация селективтілігіне, көбік қабатының тұрақтылығына әсері көрсетілген. Eh динамикасын талдау және уақытты бақылау негізінде мыс с өндірісінің төмендеуін болжау мүмкіндігі сапалы түрде расталды.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы процестің сенімділігі мен тиімділігін арттыру үшін целлюлоза химиясы мен болжамды алгоритмдердің АБЖ-ТП флотация контурына онлайн-бақылауды біріктіруді негіздеу болып табылады. Әрі қарайғы зерттеулер soft сенсорларын дамытуға, өнеркәсіптік жағдайлар үшін ұсынылған шешімдерді масштабтауға бағытталған.

Түйін сөздер: флотация, целлюлоза химиясы, тотығу-тотықсыздану потенциалы, экстракция, онлайн бақылау, автоматтандыру, интеллектуалды әдістер

THE EFFECT OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE PULP ON THE EFFICIENCY OF FLOTATION DURING AUTOMATED PARAMETER CONTROL

[1]K. Akishev✉, [2]A. Podvalov, [1]A. Zeynullin, [1]Y. Aibuldinov✉, [2]A. Nurmaganbetov, [1]M. Ospanova, [2]M. Chagay, [2]M. Aitiyeva, [2]S. Khussainova [3]N. Toktar

[1]K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
[2]AG Tech LLP, Astana, Kazakhstan,
[3]Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan,
e-mail: akmail04cx@mail.ru, elaman_@mail.ru

The relevance of the research lies in the need to increase the stability and selectivity of ore processing in conditions of changing chemical composition of the pulp and the requirements for automation by process control. The aim of the work was to evaluate the influence of the parameters of the pulp chemistry on the efficiency of flotation, to justify the use of analytical and intelligent methods for adaptive process control.

The study uses methods of online monitoring of pH, redox potential (Eh) using electrochemical sensors, laboratory analyses of the ionic composition of the liquid phase, analytical and predictive data processing methods. The analysis of the relationship between the chemical parameters of the pulp and the technological parameters of flotation is carried out.

It has been established that the key integral parameter is the redox potential Eh. The optimal Eh range (-50...+150 mV) has been determined, at which the maximum copper recovery values are achieved, going beyond this range leads to a reduction in recovery by 5-12%. The effect of pH (8.6–9.2) and concentrations of Ca^{2+} and SO_4^{2-} ions on the selectivity of flotation and the stability of the foam layer is shown. The possibility of predicting a decrease in copper recovery based on the analysis of Eh dynamics and time control has been qualitatively confirmed.

The practical significance of the work is to substantiate the integration of online monitoring of pulp chemistry and predictive algorithms into the contours of automated control systems for flotation to increase the reliability and efficiency of the process. Further research is aimed at developing soft sensors and scaling the proposed solutions for industrial environments.

Keywords: flotation, pulp chemistry, redox potential, extraction, online control, automation, intelligent methods

Введение. Флотационное обогащение является одним из ключевых процессов переработки сульфидных и окисленных руд цветных металлов и определяет до 70–80 % суммарного извлечения меди на обогатительных фабриках. Эффективность флотации в значительной степени обусловлена химическим составом пульпы, включающим концентрации ионов металлов, pH, окислительно-восстановительный потенциал (Eh), содержание растворённых солей, дисперсность твёрдой фазы и активность реагентов. Изменение указанных параметров приводит к трансформации поверхностных свойств минералов, кинетики адсорбции реагентов и устойчивости пенного слоя.

Для медных месторождений Казахстана, в частности Нурказганского, характерна высокая изменчивость минералогического и химического состава руды, что обуславливает нестационарность флотационного процесса. В условиях традиционного управления, основанного на локальных ПИД-регуляторах и периодическом лабораторном анализе, это приводит к перерасходу реагентов, снижению извлечения и росту потерь металла в хвостах. Проведённое предпроектное обследование Нурказганской обогатительной фабрики показало значительное число аварийных остановок и колебаний технологических показателей, напрямую связанных с несвоевременным учётом изменений состава пульпы [1].

В последние годы в мировой практике наблюдается переход к автоматизированному и интеллектуальному управлению флотацией, основанному на онлайн-контроле химических и физико-химических параметров пульпы с применением искусственного интеллекта, машинного обучения и мультисенсорных измерительных систем. Однако для условий Казахстана подобные решения остаются недостаточно адаптированными к реальным производственным ограничениям и вариабельности рудного сырья. Это определяет актуальность настоящего исследования.

Актуальность работы обусловлена совокупностью технологических, экономических и экологических факторов:

- повышением требований к извлечению металлов при одновременном снижении содержания меди в исходной руде требует более точного управления реагентным режимом и состоянием пульпы;

- высокой изменчивость химического состава пульпы (Cu^{2+}, Fe^{3+}/Fe^{2+}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, SO_4^{2-}, pH, Eh) приводит к нестабильности флотации при использовании традиционных методов регулирования;

- ограниченность лабораторного контроля не позволяет оперативно реагировать на изменения состава пульпы, особенно в многокамерных флотационных каскадах;

- развитием цифровизации и Индустрии 4.0 в горнометаллургическом комплексе Республики Казахстан требует внедрения программно-аппаратных комплексов (ПАК), обеспечивающих онлайн-анализ и интеллектуальное управление процессами обогащения;

- внедрение автоматизированного контроля химического состава пульпы и интеллектуальных алгоритмов управления позволяет снизить потери меди в хвостах, сократить расход реагентов и повысить устойчивость процесса флотации [1].

В исследованиях связанных с оценкой влияния химического состава пульпы на эффективность флотации, возможностям автоматизированного управления данным процессом, особое внимание уделяется роли *pH*, окислительно-восстановительного потенциала *Eh*, ионного состава и растворённых солей, а также использованию интеллектуальных методов мониторинга и управления.

Анализ зарубежных и отечественных исследований позволяет выявить основные тенденции развития автоматизации флотационных процессов, определить существующие ограничения, обосновать необходимость дальнейших исследований.

Современные тренды исследований по тематике настоящего исследования представлены широким спектром публикаций.

В работе [2] предложена динамическая мо-

дель флотации, учитывающая физику пенного слоя и гидродинамику процесса. Показано, что устойчивость флотации и точность предиктивного управления существенно зависят от параметров среды, включая химическое состояние пульпы. Разработанная модель заложила основу для дальнейших исследований в области интеллектуального управления флотационными процессами.

В исследовании [3] описано влияние качества воды и специфических ионов на флотационную активность. Принято, что ионы Ca^{2+}, Mg^{2+} и SO_4^{2-} оказывают значительное влияние на устойчивость пены и эффективность извлечения, особенно при замкнутых водооборотных схемах. Исследования подчёркивают необходимость учёта ионного состава пульпы при автоматизированном управлении флотацией.

В публикации [4] представлена работа окислительно-восстановительного потенциала (Eh) в селективной флотации медных сульфидов и молибденита. Получено, что отклонение Eh от оптимального диапазона приводит к снижению извлечения вследствие изменения поверхностных свойств минералов. Такие же результаты описаны в работе [5], где Eh рассматривается как управляемый технологический параметр.

Работа [6] предоставляет данные, анализа влияния ионной силы среды на адсорбцию реагентов и кинетику флотации. Отмечено, что изменение ионной силы без корректировки режима управления может привести к нестабильности технологических показателей.

Исследования [7] анализируют механизмы влияния металлических ионов на флотацию медных, свинцовых и цинковых руд. Принято, что ионный состав пульпы формирует сложные конкурентные процессы адсорбции, что требует комплексного мониторинга химических параметров в режиме реального времени.

В статье [8] подготовлен анализ флотации халькопирит-пиритных руд, где подчёркнута взаимосвязь между химией пульпы, Eh, pH и селективностью процесса. Указана ограниченность традиционных эмпирических подходов и необходимость внедрения интеллектуальных систем управления.

Исследование [9] выполнено в условиях промышленного объекте демонстрирует, что смена источников технологической воды без корректного контроля химического состава пульпы приводит к снижению извлечения меди. Это подтверждает практическую значимость онлайн-контроля химических параметров.

В работе [10] описана эффективность нелинейного модельно-предиктивного управления (NMPC) для флотационных схем. Подчеркнуто, что качество управления напрямую зависит от достоверности входных параметров, включая химические характеристики пульпы.

Публикация [11] рассматривает флотацию медьсодержащего техногенного сырья и демонстрирует, что изменение химического состава среды требует адаптивного реагентного и технологического управления, особенно при нестабильном составе исходного материала.

В работе [12] исследовали влияние различных ионов, содержащихся в технической воде для медно-никелево-марганцевой руды. В результате исследования двухфазной пены были получены наблюдения, которые подтвердили результаты трехфазного исследования. Результаты показали, что двухвалентные неорганические электролиты - Ca^{2+}, Mg^{2+} и SO_4^{2-} - в большей степени способствуют образованию пены, чем одновалентные неорганические электролиты - Cl^-, NO_3^- и Na^+.

Анализ научных публикаций по теме исследования показывает, что химический состав пульпы, а именно ионный состав, pH, окислительно-восстановительный потенциал (Eh)-это ключевой фактор, определяющий эффективность и устойчивость флотационного процесса. Исследования подтверждают потенциал интеллектуальных и предиктивных методов управления, но существует недостаточная интеграция онлайн-контроля химии пульпы с системами автоматического управления, что обосновывает необходимость исследований, направленных на разработку программно-аппаратных комплексных ре-

шений, обеспечивающих адаптивное управление флотацией в условиях изменчивого состава руды.

Целью исследования является установление закономерностей влияния химического состава пульпы, окислительно-восстановительного потенциала (Eh), pH, ионного состава, на эффективность флотационного обогащения медных руд и обоснование целесообразности применения автоматизированного контроля и интеллектуальной аналитики для повышения эффективности флотационного процесса в промышленных условиях.

Для достижения поставленной цели поставлены и решены следующие задачи:

- анализ химического состава пульпы, формируемой на этапах флотационного обогащения, с выделением ключевых параметров (pH, Eh, концентрации ионов металлов и растворённых солей), оказывающих наибольшее влияние на извлечение меди;

- исследование влияние изменения окислительно-восстановительного потенциала (Eh) на селективность флотации и устойчивость процесса в условиях вариабельного состава исходного сырья;

- оценка взаимосвязи между параметрами химии пульпы и технологическими показателями флотации (извлечение, качество концентрата, стабильность пенного слоя);

- анализ возможности автоматизированного контроля параметров пульпы;

- обоснование применения аналитических и интеллектуальных методов обработки данных для формирования рекомендаций по адаптивному управлению флотацией при изменяющихся условиях химического состава пульпы;

- определение направлений дальнейших исследований, связанныых с интеграцией онлайн-контроля химии пульпы, предиктивных алгоритмов регулирования технологических параметров.

Материалы и методы. Лабораторные и опытно-технологические исследования проводились на базе производственных и испытательных площадок, в условиях обогатительной фабрики месторождения Нурказган (Республика Казахстан) - для анализа технологических параметров флотационного процесса и отбора проб пульпы на различных стадиях флотации;



Рис.1 - Производственно-контрольная лаборатория

- в производственно-контрольной лаборатории (ПКЛ), выполнявшей химический и физико-химический анализ пульпы рис.1;

- в рамках опытно-технологических испытаний с применением средств автоматизированного контроля параметров пульпы.

Объектом исследования являлся процесс флотационного обогащения медной руды месторождения Нурказган.

В качестве исследуемого материала использовалась рудная пульпа, сформированная на стадиях измельчения и флотации рис.2.

Материалы исследования:

- пробы пульпы, для стадий флотационного процесса;

- лабораторные данные анализов химического состава пульпы;

- данные по результатам опытно-технологических испытаний;

- параметры эффективности флотации (извлечение меди, выход, качество концентрата, устойчивость пенного слоя).

Исследование выполнялось с использованием комплекса экспериментальных и аналитических методов.

При оценке химического состояния пульпы определялся:

- водородный показатель (pH);

- окислительно-восстановительный потенциал (Eh);

- качественные и количественные характеристики ионного состава.



Рис.2 - Процесс измельчения рудной пульпы в шаровой мельнице

Измерения *pH* и *Eh* выполнялись с применением электрохимических датчиков, установленных непосредственно в пульпу — это позволяло регистрировать параметры в оперативном режиме рис.3.

Эффективность флотационного процесса оценивалась по стандартным технологическим показателям: извлечению меди в концентрат, выходу концентрата и устойчивости пенного слоя.

Расчёт показателей выполнялся на основе экспериментальных данных по существующим методикам обогащения полезных ископаемых.



Рис.3 - Установка электрохимических датчиков в пульпу

Методы статистического и корреляционного анализа использовались для выявления закономерностей влияния химического состава пульпы на показатели флотации. В ходе экспериментов, определялись возможности автоматизированного контроля параметров пульпы.

Результаты исследования отражают условия переработки сырья месторождения Нурказган и требуют дополнительных исследований при применении на других обогатительных фабриках с иным минералогическим и химическим составом руды.

Обсуждение и результаты. ***Анализ химического состава пульпы на стадиях флотационного обогащения.***

Химический состав пульпы на стадиях измельчения и флотационного обогащения - это продукт воздействия минералогического состава руды, качества оборотной воды, реагентного режима, гидродинамических условий процесса.

В рамках настоящего исследования установлено, решающее влияние на извлечение меди оказывают следующие параметры:

- pH;

- окислительно-восстановительный потенциал (Eh);

- концентрации ионов кальция, магния, железа, сульфат-ионов, формирующих ионную среду пульпы.

При этом на стадии измельчения осуществляется интенсификация минеральных фаз, в котором происходит рост удельной поверхности твёрдой фазы с активным переходом ионов в жидкую фазу.

Получена химически активная пульпа с ярко выраженной изменчивостью pH и Eh. В стадиях основной и контрольной флотации параметры пульпы стабилизируются, но остаются чувствительными к колебаниям состава исходного сырья.

Установлено, что значение pH пульпы на всех стадиях флотации находится в слабощелочной области, оптимальной для флотации медных сульфидов. При этом pH оказывает комплексное влияние на:

- заряд поверхности минералов;

- степень диссоциации реагентов;

- устойчивость пенного слоя.

(Eh)-окислительно-восстановительный потенциал, является наиболее чувствительным параметром, показывает электрохимическое состо-

яние среды, определяет степень окисления поверхности минералов и напрямую связанным с селективностью флотации.

В табл.1 приведены диапазоны pH и Eh пульпы по стадиям флотационного процесса.

Таблица 1 - Диапазоны pH и Eh пульпы по стадиям флотационного процесса

Стадия процесса	pH	Eh, мВ	Характеристика среды
После измельчения	8.2–8.8	−150…+50	Активная, нестабильная
Основная флотация	8.6–9.2	−50…+150	Оптимальная
Контрольная флотация	8.8–9.4	0…+250	Слабоокислительная

Представленный на рис.4 график отражает изменение водородного показателя pH пульпы при переходе от стадии измельчения к стадиям основной, контрольной флотации.

Видно, что происходит постепенная стабилизация и незначительный рост pH в ходе флотационного процесса.

На стадии измельчения pH характеризуется широким диапазоном значений-это обусловлено прежде всего, интенсивным раскрытием минеральных фаз, активацией свежих поверхностей, взаимодействием твёрдой фазы с оборотной водой.

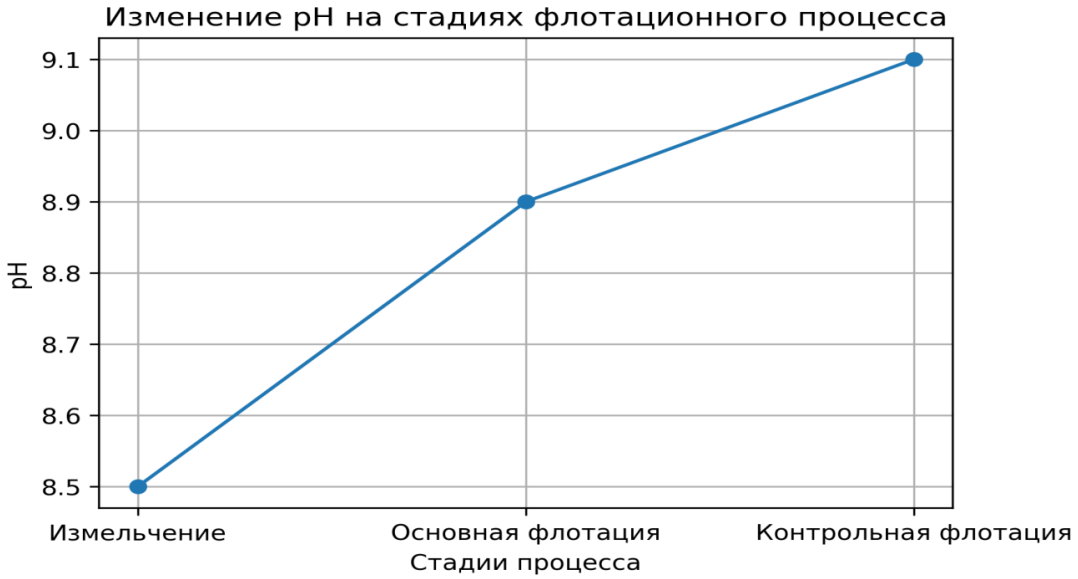


Рис.4 - Изменение pH пульпы по стадиям флотационного процесса

Из рис.4 видно, что в процессе основной флотации pH стабилизируется за счёт дозирования реагентов, формирования квазистационарного химического равновесия в пульпе. В то же время на стадии контрольной флотации наблюдается дальнейший сдвиг pH в слабощелочную область, обеспечивающей поддержание устойчивости пенного слоя, снижению вторичного захвата пустой породы.

Эти результаты подтверждают, что pH является параметром управления флотацией, который влияет на кинетику реагентных реакций и стабильность процесса.

Анализ жидкой фазы пульпы показывает значительное присутствие ионов Ca^{2+}, Mg^{2+},

Fe^{3+}/Fe^{2+}, а также SO_4^{2-} за счет оборотной воды и переработки техногенно-изменённого сырья.

В этом случае ионы Ca и Mn оказывают негативное действие на медные минералы, снижающее активность коллекторов, ухудшая извлечение меди. Увеличение концентрации сульфат-ионов способствуют росту ионной силы раствора и дестабилизации пенного слоя.

На рис.5 представлен график изменения окислительно-восстановительного потенциала (Eh), демонстрирующий динамику электрохимического состояния пульпы на различных стадиях флотационного обогащения.

Стадии измельчения пульпы характеризуется восстановительной средой-это связано с образованием новых поверхностей сульфидных минералов, присутствием восстановительных компонентов.

Переход к основной флотации обусловлен ростом Eh до значений оптимального диапазона селективной флотации медных минералов. Диапазон обеспечивает благоприятные условия для адсорбции коллекторов, формирования устойчивых гидрофобных частиц. Стадия контрольной флотации Eh смещена в сторону окислительных значений-это приводит к частичному снижению селективности, но способствует доизвлечению меди из труднообогатимых фракций.

Представленный на рис.5 график показывает Eh- интегральным и высокочувствительным параметром, влияющим на извлечение меди и требующим приоритетного контроля в автоматизированных системах управления.

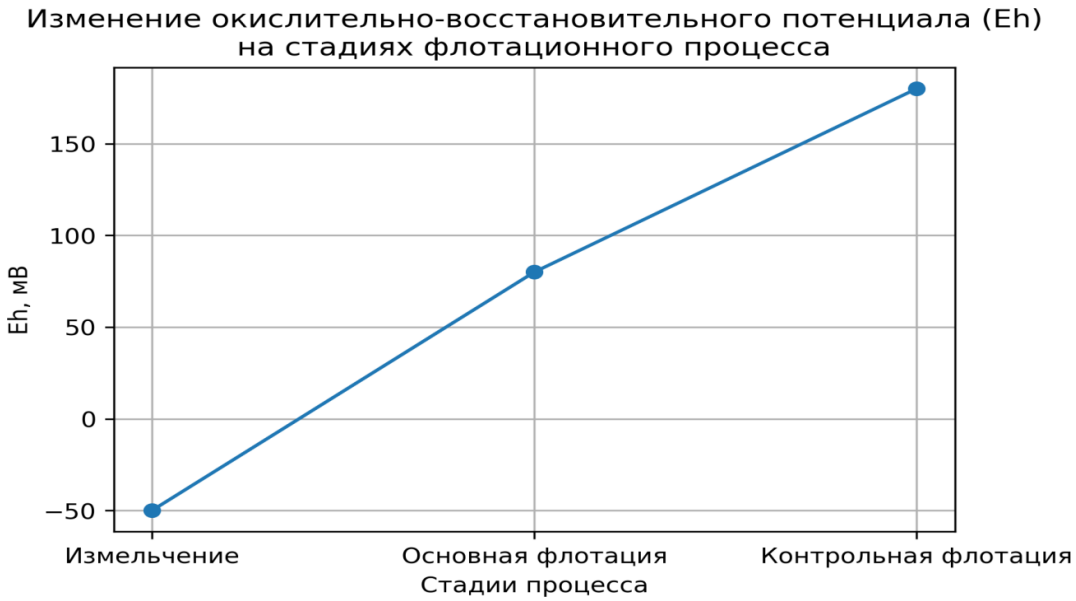


Рис.5 - Изменение окислительно-восстановительного потенциала (Eh) по стадиям процесса

В табл.2 представлены Обобщённые концентрации основных ионов в пульпе

График рис.6 распределения концентраций основных ионов в жидкой фазе пульпы отражает влияние кальциевых и сульфатных ионов на ионную среду флотационного процесса. Высокое содержание Ca^2 и SO_4^2 обусловлено прежде всего минералогическим составом перерабатываемого сырья, использованием оборотной воды с накоплением растворённых солей. При этом ионы Ca оказывают выраженное негативное действие на медные сульфиды, понижая эффективность адсорбции коллекторов, ухудшая селективность флотации. Сульфат-ионы увеличивают ионную силу раствора, что негативно сказывается на устойчивости пенного слоя, приводит к росту механического захвата пустой породы. Низкие концентрации ионов Fe,

несмотря на не высокую концентрацию, играют значимую роль в формировании окислительно-восстановительного потенциала среды. Представленный на рис.6 график обуславливает необходимость комплексного контроля ионного состава пульпы при разработке адаптивных стратегий управления флотацией.

Таблица 2 - Обобщённые концентрации основных ионов в пульпе

Ион	Диапазон концентраций, мг/л	Влияние на флотацию
Ca^{2+}	250–480	Снижение селективности
Mg^{2+}	80–150	Ухудшение пенообразования
Fe^{3+}/Fe^{2+}	5–25	Изменение Eh
SO_4^{2-}	900–1500	Рост ионной силы

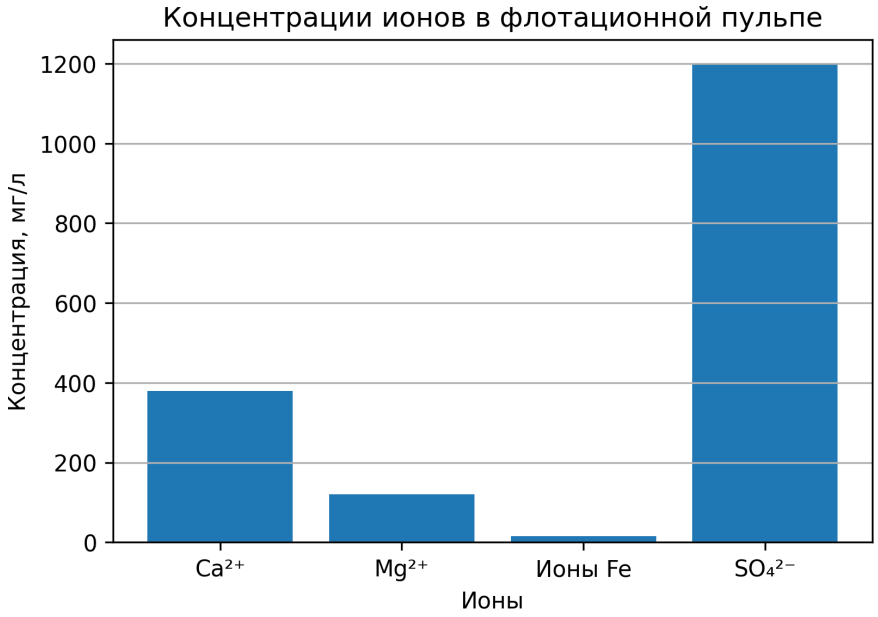


Рис.6 - Концентрации основных ионов в жидкой фазе пульпы

Сопоставление химических параметров пульпы с показателями флотации показало, что максимальное извлечение меди может достигаться при сбалансированном сочетании pH и Eh, умеренных концентрациях растворённых солей. При превышении пороговых значений ионного состава наблюдается увеличение потерь меди в хвостах табл.3.

График рис.7 степени влияния параметров химического состава пульпы на извлечение меди показал относительную значимость отдельных факторов.

Основное влияние на извлечение меди оказывают окислительно-восстановительный потенциал (Eh) и концентрация ионов кальция - это подтверждает электрохимическую природу процессов флотации медных сульфидов.

Показатель pH оказывает умеренное влияние, являясь регулирующим фактором для реагентных реакций, устойчивости пены, но он не определяет селективность процесса. Влияние сульфат-ионов можно оценить, как среднее, но с существенным усилением за счёт роста ионной силы среды.

Таблица 3 - Характер влияния параметров химии пульпы на извлечение меди

Параметр	Характер влияния	Степень значимости
pH	Косвенное	Средняя
Eh	Прямое	Высокая
Ca^{2+}	Отрицательное	Высокая
SO_4^{2-}	Отрицательное	Средняя

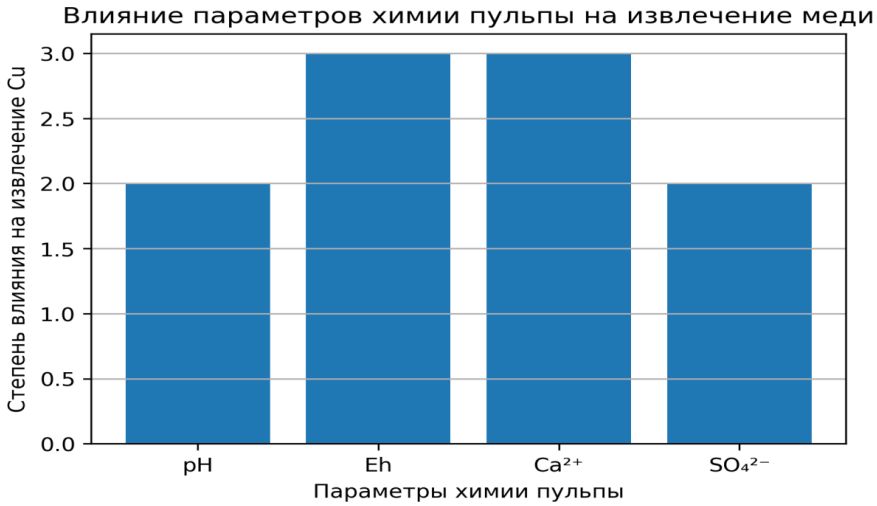


Рис.7 - Влияние параметров химического состава пульпы на извлечение меди

Полученные результаты свидетельствуют, что эффективное управление флотацией требует приоритетного контроля именно показателя Eh и ионного состава пульпы, а не только технологических параметров, что способствует необходимости внедрения интеллектуальных систем анализа и регулирования.

Определено, что химический состав пульпы является ключевым фактором эффективности флотационного обогащения меди. Традиционный подход, основанный на реагентном режиме, без контроля pH, Eh, ионного состава не обеспечивает надежность и селективность процесса при изменяющемся составе сырья. При этом Eh (показатель электрохимического состояния среды) является перспективным параметром для включения в контуры автоматизированного и интеллектуального управления флотацией.

Влияние окислительно-восстановительного потенциала (Eh) на селективность флотации и устойчивость процесса.

Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) является интегральным показателем электрохимического состояния пульпы он отражает: влияние минералогического состава сырья, ионной среды, качества оборотной воды, реагентного режима.

При переработке медных руд с вариабельным составом Eh определяет:

- степень окисления поверхности сульфидных минералов;

- механизм адсорбции коллекторов, селективность флотационного процесса.

Колебания Eh в пульпе носят систематический характер, и они с изменением состава исходного сырья и условий его подготовки.

В ходе исследований установлено, что на стадии измельчения пульпа формируется в восста-

новительной или слабо восстановительной среде - это связано с образованием новых поверхностей сульфидных минералов. В основной флотации Eh смещается в сторону более окислительных значений за счёт аэрации и взаимодействия с реагентами.

Диапазон Eh, обеспечивающий максимальную селективность флотации меди, по данным полученным в ходе исследования, составляет от −50 до +150 мВ. В этом диапазоне достигается устойчивое извлечение меди при минимальном вовлечении пустой породы.

Получено по экспериментальным данным при низких значениях Eh (ниже −100 мВ) наблюдается нестабильность пенного слоя, снижение селективности флотации, в связи с недостаточной активацией поверхности минералов. Чрезмерное повышение Eh (выше +200 мВ) приводит к переокислению поверхности медных сульфидов, снижению эффективности адсорбции коллекторов, росту потерь меди в хвостах.

Подтверждено, что при стабильном поддержании Eh в оптимальном диапазоне удаётся сгладить влияние вариаций исходного сырья на технологические показатели.

При отсутствии оперативного контроля Eh наблюдаются резкие колебания извлечения меди, ухудшение качества концентрата, с повышением содержании вторичных окисленных минералов и ионов железа в пульпе.

По результатам исследования выявлено, что изменение окислительно-восстановительного потенциала пульпы оказывает решающее влияние на селективность флотации и устойчивость технологического процесса. При этом поддержание Eh в оптимальном диапазоне позволяет повысить извлечение меди, снизить чувствительность флотации к вариабельности исходного сырья.

На представленном рис.8 графике представлена зависимость извлечения меди от значения окислительно-восстановительного потенциала (Eh) пульпы в процессе флотационного обогащения. Кривая имеет выраженный экстремальный характер, свидетельствующий о наличии оптимального диапазона Eh, где достигаются наибольшие значения извлечения меди. Низкие значения Eh, соответствуют восстановительной среде, извлечение меди снижено, что связано с нестабильностью пенного слоя и недостаточной активацией поверхности сульфидных минералов, наблюдается ухудшение эффективности адсорбции коллекторов.

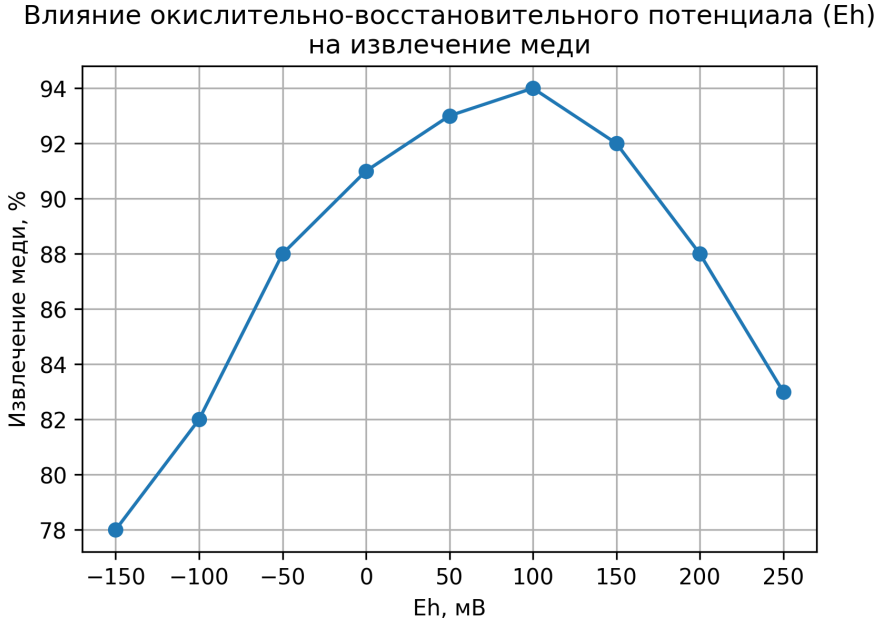


Рис.8 - Зависимость извлечения меди от окислительно-восстановительного потенциала (Eh)

Увеличение Eh создает рост извлечения меди, максимум в интервале от −50 до +150 мВ. В этом диапазоне формируются наиболее благоприятные электрохимические условия для селективной флотации медных минералов. Повышение Eh приводит к снижению извлечения, переокислению поверхности минералов, ухудшению гидрофобных свойств частиц и росту потерь меди в хвостах.

График на рис.9 показывает изменение устойчивости пенного слоя в зависимости от окислительно-восстановительного потенциала пульпы. Устойчивость пены оценивалась по относительному индексу, сохранности структуры пенного слоя в процессе флотации.

Для низких показателей Eh наблюдается пониженная устойчивость пены, определяющаяся недостаточной гидрофобизацией частиц, слабой фиксацией пузырьков воздуха.

С повышением показателя Eh, устойчивость пенного слоя возрастает, достигает максимальных значений в диапазоне 0…+100 мВ, оптимальные условия флотации. Эти условия составляют баланс между гидрофобностью частиц и прочностью межфазных пленок.

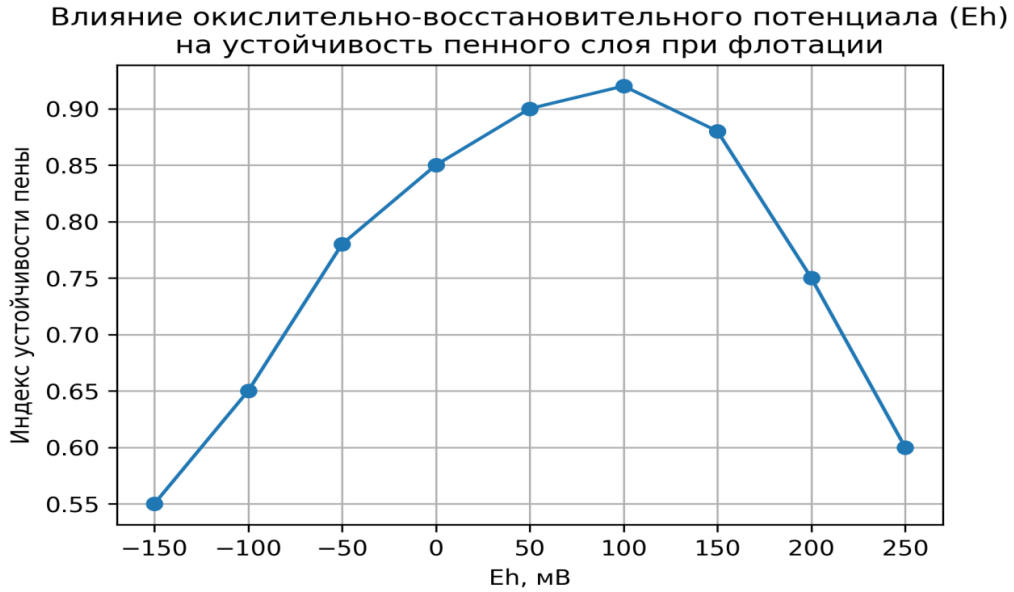


Рис.9 - Влияние окислительно-восстановительного потенциала (Eh) на устойчивость пенного слоя

При дальнейшем росте Eh устойчивость пены снижается, происходит изменение поверхностных свойств минералов, увеличивается гидрофильность. График демонстрирует, устойчивость пенного слоя, а также извлечение меди, зависит от электрохимического состояния пульпы.

Оценка взаимосвязи параметров химии пульпы и технологических показателей флотации.

Анализ лабораторных данных и результатов исследований показал, что технологические показатели флотации меди (извлечение, качество концентрата и устойчивость пенного слоя) находятся в взаимосвязи с химическим состоянием пульпы, параметрами окислительно-восстановительного потенциала (Eh), pH и ионного состава жидкой фазы.

Определено, что извлечение меди имеет выраженную нелинейную зависимость от Eh. Максимальные значения извлечения достигаются при поддержании Eh в диапазоне −50…+150 мВ, при этом обеспечивается оптимальное условие адсорбции коллекторов, селективного закрепления медных сульфидов на пузырьках воздуха. Выход Eh за указанные пределы приводит к снижению извлечения из-за нестабильности пены (в восстановительной среде), или переокисле-

ния поверхности минералов (в окислительной среде).

Качество концентрата зависит от химии пульпы, повышенные концентрации ионов Ca^{2} и SO_4^{2} , характерные для оборотной воды, вызывают рост механического захвата пустой породы и снижению содержания меди в концентрате. Удержание стабильного pH в слабощелочной области (8,6–9,2) частично компенсирует негативное влияние ионной среды.

Стабильность пенного слоя показывает высокую чувствительность к Eh и ионному составу пульпы. Более стабильная пена формируется при Eh, стремящейся к нулевым положительным значениям, при крайних значениях потенциала возможно разрушение пенной структуры и рост технологических потерь.

Сравнение химических параметров пульпы с технологическими показателями подтверждает, что Eh является ключевым интегральным индикатором, определяющим текущее состояние процесса флотации. В условиях вариабельного состава исходного сырья контроль Eh и ионной среды, обеспечивает устойчивость флотации и прогнозируемое качество концентрата.

Анализ возможности автоматизированного контроля параметров пульпы.

Результаты настоящего исследования подтверждают целесообразность применения автоматизированного контроля химических параметров пульпы в процессе флотационного обогащения. Применение электрохимических датчиков pH и окислительно-восстановительного потенциала (Eh), установленных в пульпу, предполагает оперативное получение данных в режиме реального времени. Это способствует выявлению отклонений химического состояния среды, которые недоступны при периодическом лабораторном контроле.

Автоматизация мониторинга параметров пульпы повышает устойчивость флотационного процесса за счёт сокращения времени отклика между изменением состава сырья и корректировкой технологических режимов. Стабильный и оперативный сбор данных формирует основу для применения аналитических и интеллектуальных методов обработки информации. Полученные результаты показывают, что автоматизированный контроль необходимый составляющая повышения эффективности, предсказуемости флотации в условиях вариабельного состава исходного сырья.

Обоснование применения аналитических и интеллектуальных методов для адаптивного управления флотацией.

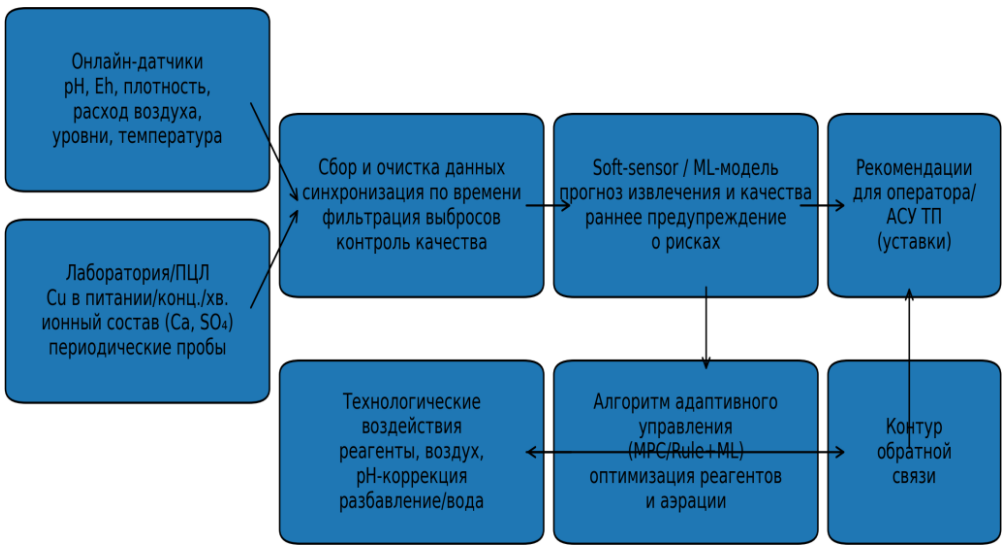


Рис.10 - Функциональная схема применения аналитических и интеллектуальных методов для управления флотацией

Результаты исследования показывают, что химическое состояние пульпы (pH, Eh, ионный состав, минерализация оборотной воды) изменяется во времени и по стадиям, а технологические показатели флотации (извлечение Cu, качество концентрата, устойчивость пены) реагируют на эти изменения нелинейно и с временным лагом. В этих условиях операторы «по факту» не успевают корректировать режимы (реагенты, воздух, pH-коррекция), увеличиваются потери Cu, ухудшается стабильность процесса. Целесообразно переходить к data-driven подходу: непрерывный сбор данных → аналитика → прогноз → рекомендация/уставка.

Функциональная схема применения аналитических и интеллектуальных методов для управления флотацией представлена на рис.10.

Схема на рис.10 показывает структуру аналитико-интеллектуальной системы адаптивного управления флотационным процессом на основе параметров химии пульпы.

Входной поток данных формируется онлайн-датчиками pH, окислительно-восстановительного потенциала (Eh), плотности пульпы и расхода воздуха, результатами анализов производственно-контрольной лаборатории по содержанию меди, ионному составу жидкой фазы.

На этапе сбора и предварительной обработки, данные синхронизируются, фильтруются и проверяются на достоверность и адекватность.

Аналитические и интеллектуальные модели (soft-сенсоры, регрессионные и машинного обучения) оценивают текущее состояние процесса и прогноз технологических показателей флотации. По полученному прогнозу формируются рекомендации по корректировке реагентного режима, аэрации и pH, которые реализуются через контуры АСУ- ТП.

Обратная связь обеспечивает адаптацию системы к изменяющемуся химическому составу пульпы, повышает устойчивость, эффективность флотации.

Табл.4 предназначена для систематизации параметров химического и технологического состояния пульпы, для аналитической обработки данных в интеллектуальных моделях адаптивного управления флотационным процессом. Указанные применяются в корреляционном и прогнозном анализе для оценки взаимосвязи между химией пульпы и технологическими показателями флотации (извлечение меди, качество концентрата, устойчивость пенного слоя), при формировании рекомендаций по корректировке реагентного режима, аэрации и параметров процесса в условиях изменяющегося химического состава пульпы.

Таблица 4 - Использование параметров химии пульпы в аналитических и интеллектуальных моделях управления флотацией

Наблюдаемые параметры (по отчёту)	**Аналитическая обработка**	**Выход модели**	**Управляющее воздействие (рекомендация)**
pH, Eh (онлайн)	фильтрация выбросов, тренды	риск переокисления/недоокисления	корректировка воздуха/реагентов, стабилизация режима
Ca^{2+}, SO_4^{2-} (лаборат.)	контроль ионной силы	риск падения селективности	разбавление/водообмен, корректировка реагентов
Cu в питании/конц./хв.	расчёт KPI, лаг-анализ	прогноз извлечения/качества	адаптивная оптимизация уставок

Матрица рис.11, показывает степень влияния параметров химии пульпы на основные технологические показатели флотации меди. Коэффициенты характеризуют направление и относительную силу связи между химическими параметрами (pH, Eh, концентрации ионов Ca^2 и SO_4^2, плотность пульпы, расход воздуха), а также показатели процесса (извлечение меди, содержание меди в концентрате, устойчивость пенного слоя).

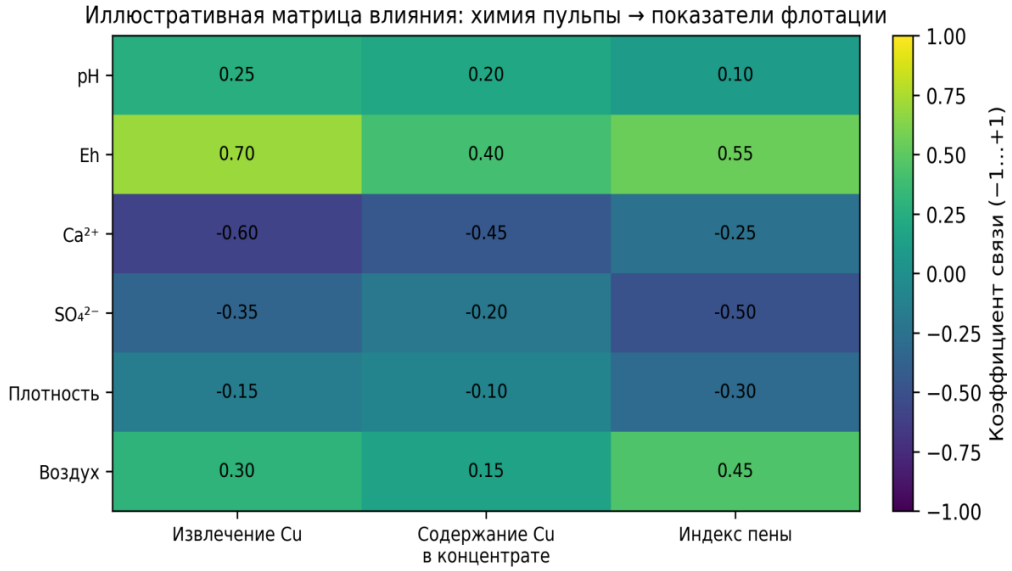


Рис.11 - Матрица взаимосвязи параметров химии пульпы и технологических показателей флотации

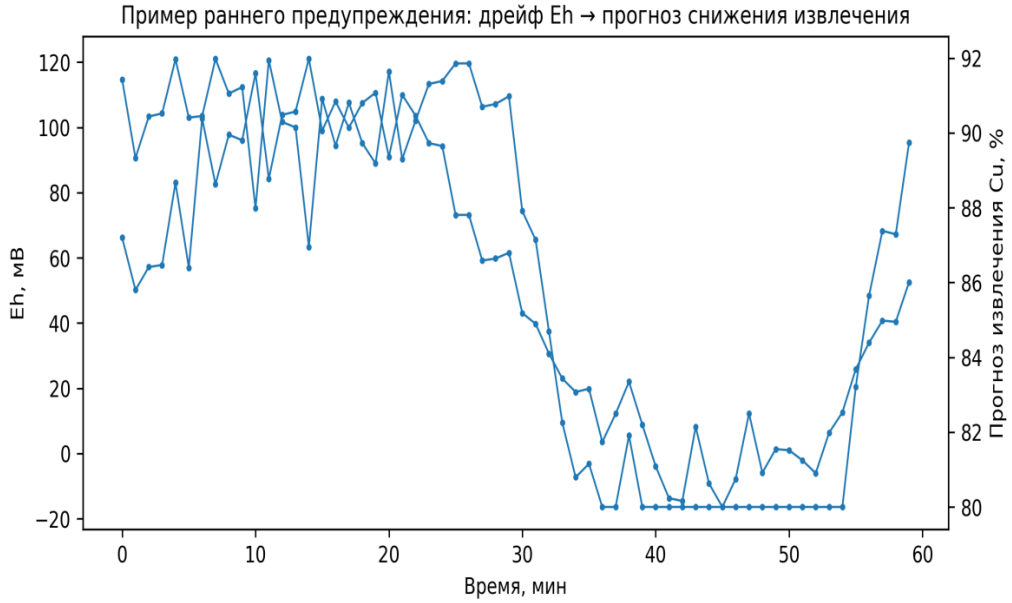


Рис.12 - Прогноз изменения извлечения меди в зависимости от окислительно-восстановительного потенциала (Eh) во времени

Положительная связь установлена между окислительно-восстановительным потенциалом (Eh) и извлечением меди, устойчивостью пенного слоя — это подтверждает ключевую роль электрохимического состояния среды. Отрицательные коэффициенты для ионов кальция

и сульфатов указывают их негативное влияние на селективность флотации, качество концентрата. Матрица позволяет выбрать приоритетные входные признаки аналитических и интеллектуальных моделей, формировать рекомендации по адаптивному управлению флотационным процессом.

На графике рис.12 представлена динамика окислительно-восстановительного потенциала (Eh) пульпы во времени и соответствующий прогноз изменения извлечения меди, полученный с использованием аналитико-интеллектуальной модели. Показано, что колебания Eh носят квазипериодический характер и отражают изменение химического состояния пульпы при вариабельном составе исходного сырья. По мере отклонения Eh от оптимального диапазона наблюдается прогнозируемое снижение извлечения меди-это свидетельствует о высокой чувствительности флотационного процесса к электрохимическому состоянию среды.

Прогноз идет с опережением по времени относительно фактического ухудшения технологических показателей, что делает возможным использование его в качестве механизма раннего предупреждения. График показывает возможность раннего выявления неблагоприятных режимов флотации, обосновывает применение интеллектуальных методов обработки данных для адаптивного управления процессом в режиме реального времени.

Научная новизна исследования заключается в обосновании роли окислительно-восстановительного потенциала пульпы как ключевого интегрального параметра, определяющего селективность, устойчивость флотационного обогащения меди в условиях вариабельного химического состава сырья. Представлена возможность использования онлайн-измерений pH и Eh в комплексе с лабораторными данными по ионному составу при построении аналитико-интеллектуальных моделей, обеспечивающих прогноз технологических показателей флотации с предупреждением по времени. Подготовлен и предложен подход к адаптивному управлению флотационным процессом, на предиктивной оценке риска снижения извлечения меди, формирования упреждающих управляющих воздействий. Полученные результаты расширяют представления о применении методов интеллектуального анализа данных с целью повышения эффективности и надежности процессов флотационного обогащения.

Дальнейшие исследования направлены на развитие предиктивных алгоритмов регулирования технологических параметров, основанных на использовании временных рядов и машинного обучения для упреждающего выявления отклонений процесса, созданию и валидации soft-сенсоров для оценки технологических показателей в реальном времени, разработке адаптивных стратегий управления реагентным режимом и аэрацией при вариабельном составе исходного сырья, масштабирование предложенных решений для предприятий ГМК Республики Казахстан.

Выводы.

1) Выполнен анализ химического состава пульпы, для различных стадий флотационного обогащения. Установлено, что ключевыми параметрами, влияющими на извлечение меди, являются окислительно-восстановительный потенциал (Eh), pH, концентрации ионов кальция и сульфатов. pH 8,2–9,4, Eh −150…+250 мВ, концентрации Ca^{2} до 480 мг/л и SO_4^{2} до 1500 мг/л. Показано, химическое состояние пульпы изменяется во времени, чувствительно к вариабельности состава исходного сырья, оборотной воды.

2) Исследовано влияние изменения окислительно-восстановительного потенциала на селективность флотации и устойчивость процесса. Установлен оптимальный диапазон Eh, при котором обеспечивается максимальное извлечение меди и стабильность пенного слоя. Выход Eh за пределы данного диапазона приводит к снижению эффективности флотации Eh −50…+150 мВ, при выходе за который извлечение меди снижается на 5–12 %

3) Оценена взаимосвязь между параметрами химии пульпы и технологическими показателя-

ми флотации. Показано, что Eh является наиболее информативным интегральным параметром, определяющим извлечение меди, качество концентрата и устойчивость процесса, тогда как pH и ионный состав оказывают преимущественно косвенное влияние.

4) Проанализированы возможности автоматизированного онлайн-контроля параметров пульпы. Доказана эффективность применения электрохимических датчиков pH и Eh для оперативного мониторинга химического состояния среды по сравнению с лабораторным контролем.

5) Обосновано применение аналитических и интеллектуальных методов обработки данных при формировании прогнозов и рекомендаций по адаптивному управлению флотацией. Показана возможность упреждающего выявления рисков снижения извлечения меди при изменении химии пульпы.

6) Определены направления дальнейших исследований, связанные с интеграцией онлайн-контроля химии пульпы, развитием предиктивных алгоритмов регулирования технологических параметров и внедрением адаптивных стратегий управления в контуры АСУ- ТП флотации.

Финансирование. *Статья подготовлена по результатам исследований в рамках ПЦФ BR28713037 «Разработка программно-аппаратного комплекса на базе технологий искусственного интеллекта для управления процессом флотации на горно-обогатительных предприятиях».*

Литература

1. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка программно-аппаратного комплекса на базе технологий искусственного интеллекта для управления процессом флотации на горно-обогатительных предприятиях», г. Астана, 2025.

2. Quintanilla P., Neethling S.J., Navia D., Brito-Parada P.R. A dynamic flotation model for predictive control incorporating froth physics. Part I: Model development/Minerals Engineering. -2021. -Vol.173:107192. DOI 10.1016/j.mineng.2021.107192.

3. Corin K.C., Charamba A., Manono M.S. Water quality impact on flotation response: A focus on specific ions and temperature/Minerals Engineering. -2024. -Vol.207:108549. DOI 10.1016/j.mineng.2023.108549.

4. Bahrami A., Hassanpour Kashani R., Kazemi F., Ghorbani Y. Oxidation-reduction effects in the flotation of copper sulfide minerals and molybdenite – A proof of concept at industrial scale//Minerals Engineering. -2022. -Vol.180:107505. DOI 10.1016/j.mineng.2022.107505.

5. Panayotova M. Control of Non-Ferrous Metal-Sulfide Minerals' Flotation via Pulp Potential// Minerals. -2023. –Vol.13(12):1512. DOI 10.3390/min13121512.

6. Rankin P., Di Feo A., Kelebek S. Ionic strength of flotation medium and consequential effects/ Minerals Engineering. -2025. -Vol.220:109048. DOI 10.1016/j.mineng.2024.109048.

7. Wei B., Mao Y., Wang L., Shen P., Wang H., Liu D. Sources, Performance and Mechanisms of Metal Ions in the Flotation Process of Copper, Lead, and Zinc Ores: A Review// Minerals. -2024.-Vol.14(11):1105. DOI 10.3390/min14111105.

8. Castellón C.I., Toro N., Gálvez E., Robles P., Leiva W.H., Jeldres R.I. Froth Flotation of Chalcopyrite/Pyrite Ore: A Critical Review// Materials. -2022. -Vol.15(19):6536. DOI 10.3390/ma15196536.

9. Soufiabadi A.M., Nejadaria M., Dehghan R., Safari M., Hassanzadeh A., Khoshdast H. Effect of different process water sources on rougher flotation efficiency of a copper ore: A case study at Sarcheshmeh Copper Complex (Iran)// Physicochemical Problems of Mineral Processing. -2023. -Vol.59(5):184087. DOI 10.37190/ppmp/184087.

10. 10. Oosthuizen D.J., le Roux J.D., Craig I.K. Non-linear Model Predictive Control to Improve the Mineralogical Efficiency of Flotation Circuits/ IFAC-PapersOnLine. -2024. -Vol.58(22). -P.1-6 DOI 10.1016/j.ifacol.2024.09.281.

11. 11.Semushkina L.V., Tussupbayev N.K., Turysbekov D.K., Narbekova S.M., Kaldybayeva Zh.A. Flotation processing of copper-containing technogenic raw materials using a composite flotation reagent// Complex Use of Mineral Resources. -2023. -Vol.324(1). -P.34–42. DOI10.31643/2023/6445.05.

12. 12.Manono M.S., Corin K.C. Considering Specific Ion Effects on Froth Stability in Sulfidic Cu–Ni–PGM Ore Flotation// Minerals. -2022. -Vol.12(3):321. DOI 10.3390/min12030321.

Reference

1. Otchet o nauchno-issledovatel’ skoj rabote «Razrabotka programmno-apparatnogo kompleksa na baze tehnologij iskusstvennogo intellekta dlja upravlenija processom flotacii na gorno-obogatitel’ nyh predprijatijah», Astana. -2025. [in Russian]

2. Quintanilla P., Neethling S.J., Navia D., Brito-Parada P.R. A dynamic flotation model for predictive control incorporating froth physics. Part I: Model development/Minerals Engineering. -2021. -Vol.173:107192. DOI 10.1016/j.mineng.2021.107192.

3. Corin K.C., Charamba A., Manono M.S. Water quality impact on flotation response: A focus on specific ions and temperature/Minerals Engineering. -2024. -Vol.207:108549. DOI 10.1016/j.mineng.2023.108549.

4. Bahrami A., Hassanpour Kashani R., Kazemi F., Ghorbani Y. Oxidation-reduction effects in the flotation of copper sulfide minerals and molybdenite – A proof of concept at industrial scale//Minerals Engineering. -2022. -Vol.180:107505. DOI 10.1016/j.mineng.2022.107505.

5. Panayotova M. Control of Non-Ferrous Metal-Sulfide Minerals’ Flotation via Pulp Potential// Minerals. -2023. -Vol.13(12):1512. DOI 10.3390/min13121512.

6. Rankin P., Di Feo A., Kelebek S. Ionic strength of flotation medium and consequential effects/ Minerals Engineering. -2025. -Vol.220:109048. DOI 10.1016/j.mineng.2024.109048.

7. Wei B., Mao Y., Wang L., Shen P., Wang H., Liu D. Sources, Performance and Mechanisms of Metal Ions in the Flotation Process of Copper, Lead, and Zinc Ores: A Review// Minerals. -2024.-Vol.14(11):1105. DOI 10.3390/min14111105.

8. Castellón C.I., Toro N., Gálvez E., Robles P., Leiva W.H., Jeldres R.I. Froth Flotation of Chalcopyrite/Pyrite Ore: A Critical Review// Materials. -2022. -Vol.15(19):6536. DOI 10.3390/ma15196536.

9. Soufiabadi A.M., Nejadaria M., Dehghan R., Safari M., Hassanzadeh A., Khoshdast H. Effect of different process water sources on rougher flotation efficiency of a copper ore: A case study at Sarcheshmeh Copper Complex (Iran)// Physicochemical Problems of Mineral Processing. -2023. -Vol.59(5):184087. DOI: 10.37190/ppmp/184087.

10. Oosthuizen D.J., le Roux J.D., Craig I.K. Non-linear Model Predictive Control to Improve the Mineralogical Efficiency of Flotation Circuits// IFAC-PapersOnLine. -2024. -Vol.58(22). -P.1-6 DOI 10.1016/j.ifacol.2024.09.281.

11. Semushkina L.V., Tussupbayev N.K., Turysbekov D.K., Narbekova S.M., Kaldybayeva Zh.A. Flotation processing of copper-containing technogenic raw materials using a composite flotation reagent// Complex Use of Mineral Resources. -2023. -Vol.324(1). -P.34–42. DOI10.31643/2023/6445.05.

12. Manono M.S., Corin K.C. Considering Specific Ion Effects on Froth Stability in Sulfidic Cu–Ni–PGM Ore Flotation// Minerals. -2022. -Vol.12(3):321. DOI 10.3390/min12030321.

Сведения об авторах

Акишев К. М. -к.т.н., ассоциированный профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: akmail04cx@mail.ru;

Подвалов А.Ю.- к.г.н, ТОО «AG TECH», Астана, Казахстан, e-mail: a.podvalov@ag-tech.kz;

Зейнуллин А.А.- д.т.н., профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: karim_57@mail.ru;

Айбульдинов Е.К.- PhD, профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: elaman_@mail.ru;

Нурмаганбетов А.С.- к.т.н.,), ассоциированный профессор, ТОО «AG TECH», Астана, Казахстан, a.nurmaganbetov@ag-tech.kz;

Оспанова М. К.- к.ф.м.н., Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: ospanova_madi_59@mail.ru;

Чугай М.А.- бакалавр, ТОО «AG TECH», Астана, Казахстан, e-mail: m.chagay@ag-tech.kz;

Айтиева М. И. -бакалавр, ТОО «AG Tech», Астана, Казахстан, m.aitiyeva@ag-tech.kz;

Хусаинова С. М.- магистр технических наук, ТОО «AG TECH», Астана, Казахстан, e-mail: s.khussainova@ag-tech.kz;

Токтар Н.А.- докторант, Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан, e-mail: akanov44@yandex.ru.

Information about the authors

Akishev K. M. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (Associate Professor), K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: akmail04cx@mail.ru;

Podvalov A.- Candidate of Geographical Sciences, AG TECH LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: a.podvalov@ag-tech.kz;

Zeynullin A.A.- Doctor of Technical Sciences, Professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: karim_57@mail.ru;

Aibuldinov Y.- PhD, Professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: elaman_@mail.ru;

Nurmaganbetov A.- Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, AG TECH LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: a.nurmaganbetov@ag-tech.kz;

Ospanova M.K.- Candidate of Physical and Mathematical Sciences, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: ospanova_madi_59@mail.ru;

Chagay M.- Bachelor’s degree, AG TECH LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: m.chagay@ag-tech.kz;

Aitiyeva M.- Bachelor’ s degree, AG TECH LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: m.aitiyeva@ag-tech.kz;

Khussainova S.- Master of Science in Engineering, Astana, Kazakhstan, e-mail: e-mail: s.khussainova@ag-tech.kz

Toktar N.- doctoral student, Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan, e-mail: akanov44@yandex.ru.

ГРНТИ 31.21.19 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1591**

ОЛИГОҚАНТ ЕРІТІНДІСІНДЕГІ КҮМІС ИОНДАРЫНЫҢ ТОТЫҚСЫЗДАНУ ҮЛГІСІНЕ ӘРТҮРЛІ ЖАҒДАЙЛАРДЫҢ ӘСЕРІ

[1]С.Д. Фазылов✉, [2]А.К. Сыздыков, [1]О.А. Нүркенов, [2]С.Ж. Ахметқалиев, [3]Б.Н. Каримова

[1]Органикалық синтез және көмірхимиясы институты, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан,
[3]Е.А. Бөкетов ат. Қарағанды университеті, Қарағанды, Қазақстан

✉ *Корреспондент-автор: faz8990@mail.ru*

Бұл мақалада табиғи олигоқант β-тұйықдекстриннің ерітіндісіндегі күміс иондарының тотықсыздану сипатына әртүрлі жағдайлардың әсерін зерттеу нәтижелері ұсынылған. Олигоқант бір мезгілде алынған күміс нанобөлшектері үшін тотықсыздандырғыш және тұрақтандырғыш ретінде қолданылды. Сулы-сілтілік ортада нанобөлшектердің тотықсыздану және түзілу процестеріне ерітіндінің pH және температурасының әсері зерттелді. Ортаның сілтілігінің өзгеруі бөлшектердің өлшеміне және реакция ортасындағы ультракүлгін беттік плазмон максимумының сипатына әсер ететіні көрсетілді. Әлсіз сілтілі ортада наноөлшемді бөлшектер түзілетіні көрсетілді. β-Олигоқанттың күміс нанобөлшектерімен әрекеттесуі УК, ИҚ және ЯМР спектроскопиясын әдістемелерін қолдану арқылы анықталды. β-Олигоқанттың қатысуымен беттік плазмон резонанс жолағының батохромдық ығысуы анықталды, бұл күміс нанобөлшектері бар β-олигоқант кешенінің түзілуін көрсетеді. ИҚ-спектроскопиялық талдау β-олигоқанттың гидроксил топтарының депротонациясын тотықсыздану процестерінің нәтижесінде және олардың күміс нанобөлшектерін тұрақтандырудағы рөлін анықтады. ^{1}H және ^{13}C ЯМР деректері әлсіз ван-дер-Ваальс және олигоқанттың H-3 және H-5 протондарын қамтитын электростатикалық «қожайын-қонақ» өзара әрекеттесулерін көрсетті. Алынған эксперименттік деректер сілтілі орта нанобөлшек бетінде тұрақтандырғыш жабын қалыптастыру арқылы суда еритін β-олигоқант-AgNPs клатрат нанокомпозитінің түзілуіне ықпал етеді деген қорытындыға әкелді.

Түйін сөздер: β-олигоқант, күміс нанобөлшектері, ЯМР спектроскопиясы, клатрат кешені, нанокомпозиция.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ НА ХАРАКТЕР ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИОНОВ СЕРЕБРА В РАСТВОРЕ ОЛИГИСАХАРИДА

[1]С.Д. Фазылов✉, [2]А.К. Сыздыков, [1]О.А. Нуркенов, [2]С.Ж. Ахметкалиев, [3]Б.Н. Каримова

[1]Институт органического синтеза и углехимии, Караганда, Казахстан,
[2]Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан,
[3]Карагандинский университет им. Е.А.Букетова, Караганда, Казахстан,
e-mail: faz8990@mail.ru

В статье представлены результаты исследования влияния различных условий на характер восстановления ионов серебра в растворе натурального олигисахарида β-циклодекстрина. Олигисахарид использовался одновременно как восстановитель и стабилизатор образующихся наночастиц серебра. Исследовано влияние pH и температуры раствора на процессы восстановления и формирования наночастиц в водно-щелочной среде. Показано, что изменение щелочности среды влияет на размер частиц и положение поверхностно-плазмонного максимума УФ в реакционной среде. Показано, что в слабощелочной среде формируются частицы до наноразмерных величин. Методами УФ-спектра, ИК- и ЯМР-спектроскопии установлены особенности взаимодействия β-олигосарида с наночастицами серебра. Обнаружен батохромный сдвиг полосы поверхностно-плазмонного резонанса в присутствии β-олигосахарида, свидетельствующий о формировании комплекса β-олигосахарида с наночастицами серебра. ИК-спектроскопический анализ показал депротонирование гидрок-

сильных групп β-олигосахарида в результате восстановительных процессов и их участие в стабилизации наночастиц серебра. Данные ^{1}H и ^{13}C ЯМР указывают на слабые ван-дер-Ваальсовые, электростатические взаимодействия типа «гость–хозяин» с участием протонов H-3 и H-5 олигосахарида. Результаты полученных экспериментальных данных позволили сделать вывод, что щелочная среда способствует образованию водорастворимой клатратной нанокомпозиции β-олигосахарид-AgNPs за счёт формирования стабилизирующего покрытия на поверхности наночастиц.

Ключевые слова: β-олигосахарид, наночастицы серебра, ЯМР-спектроскопия, клатратный комплекс, нанокомпозиция.

EFFECT OF DIFFERENT CONDITIONS ON THE RECOVERY OF SILVER IONS IN AN OLIGOSACCHARIDE SOLUTION

[1]S.D. Fazylov✉, [2]A.K. Syzdykov, [1]O.A. Nurkenov, [2]S.Zh. Akhmetkaliev, [3]B.N. Karimova

[1]Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan,
[3]E.A. Buketov Karaganda University, Karaganda, Kazakhstan,
e-mail: faz8990@mail.ru

This article presents the results of a study examining the influence of various conditions on the nature of silver ion reduction in a solution of the natural oligosaccharide β-cyclodextrin. The oligosaccharide was used simultaneously as a reducing agent and stabilizer for the resulting silver nanoparticles. The influence of pH and temperature of the solution on the processes of reduction and formation of nanoparticles in an aqueous-alkaline medium was studied. It was shown that a change in the alkalinity of the medium affects the particle size and the position of the surface plasmon maximum of the UV in the reaction medium. It was shown that in a slightly alkaline medium, particles up to nanoscale sizes are formed. The interaction of β-oligosaccharide with silver nanoparticles was determined using UV, IR, and NMR spectroscopy. A bathochromic shift of the surface plasmon resonance band was detected in the presence of β-oligosaccharide, indicating the formation of a complex of β-oligosaccharide with silver nanoparticles. IR spectroscopic analysis revealed deprotonation of the hydroxyl groups of the β-oligosaccharide as a result of reductive processes and their role in stabilizing the silver nanoparticles. ^{1}H and ^{13}C NMR data indicate weak van der Waals and electrostatic «host–guest» interactions involving the H-3 and H-5 protons of the oligosaccharide. The experimental data obtained led to the conclusion that an alkaline environment facilitates the formation of a water-soluble β-oligosaccharide-AgNPs clathrate nanocomposite by forming a stabilizing coating on the nanoparticle surface.

Keywords: β-oligosaccharide, silver nanoparticles, NMR spectroscopy, clathrate complex, nanocomposition.

Кіріспе. Алдын ала анықталған қасиеттері бар жаңа буын материалдарын жасамай, қазіргі заманғы технологияның дамуы мүмкін емес. Бұл мәселенің бір шешімі - металл нанобөлшектерін қамтитын композиттік материалдарды өндіру. Соңғы жылдары бақыланатын өлшемі мен пішіні бар металл нанобөлшектерін синтездеу олардың бірегей биологиялық қасиеттеріне байланысты фармакология ғылымының маңызды саласына айналды [1,2]. Олардың практикалық маңызды физиологиялық қасиеттеріне беттік-көлемдік қатынасы әсер етеді, бұл олардың физикалық және биологиялық қасиеттерін өзгертуге мүмкіндік береді [3,4].

Металл нанобөлшектері, әсіресе күміс, биомедицина, наноэлектроника, катализ және басқа да салаларда қолдану үшін маңызды физикалық, химиялық және биологиялық қасиеттеріне байланысты ең көп зерттелген бөлшектер болып табылады [5,6]. Нанометрлік режимдегі бөлшектердің қасиеттері оларды дайындаудың мөлшеріне, пішініне және жағдайларына байланысты екенін атап өткен жөн. Сонымен қатар, олар-

ды синтездеуде қолданатын тәсілдер металл нанобөлшектерінің беттік қасиеттерін және маңызын анықтайды, сондықтан мұндай бөлшектерді мақсатты синтездеу өте қажет және бұл мәселеге көп күш жұмсалады [5,6]. Қазіргі уақытта металл нанобөлшектерін қарапайым химиялық әдістерді қолдана отырып синтездеу наноқұрылымды бөлшектерді тиімді және ірі көлемде өндірудің ең қолайлы жолдарының бірі болып табылады [5-7].

Материалдар мен әдістер. Бұл жұмыста біз AgNPs нанобөлшектерінің тотықсыздану және түзілу сипатына әртүрлі тәжірибелік жағдайлардың әсері туралы деректерді ұсынамыз. Әдебиеттерге сәйкес [8-12], күміс иондарын тотықсыздандыратын реакция әртүрлі жағдайларда жүзеге асырылады. Бұл жағдайда күміс нанобөлшектерін тұрақтандыру өте маңызды, себебі олар сулы ортада тез тотығуға ұшырайды және ерітінділерде оңай агрегацияланады. Бұл жұмыста біз табиғи өнім, β-олигоқантты (тұйықдекстрин (ТД) (Е-459), тотықсыздандырғыш және тұрақтандырғыш реагент ретінде күміс нитратына 100:1 қатынасында қолданылды. Реакциялар сулы сілтілі ортада әртүрлі pH (7-12) мәндерінде және температура жағдайларында жүргізілді.



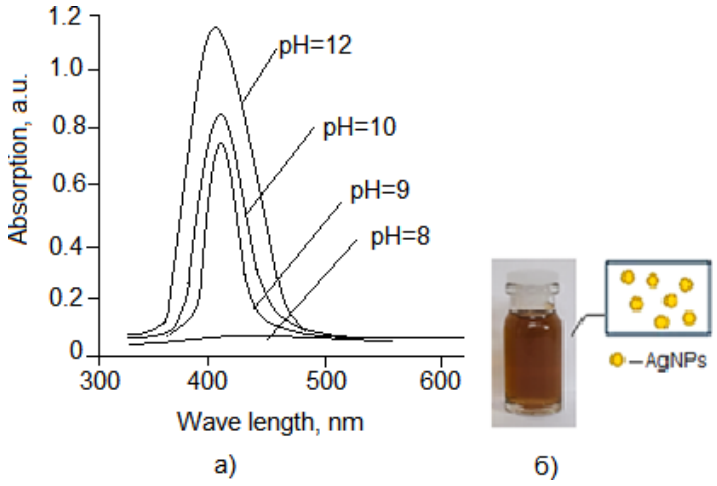
1-сурет. β-ТД-AgNP синтезінің схемалық көрінісі

Нәтижелер және талқылау. *β-ТД-мен күміс иондарын тотықсыздандыру сипатына ерітіндінің pH және температурасының әсерін зерттеу.* Тәжірибелік нәтижелер ерітінді pH-ның Ag нанобөлшектерінің (AgNPs) түзілуінде маңызды рөл атқаратынын көрсетті. Біздің тәжірибелеріміз pH≤8 кезінде және бөлме температурасында AgNPs іс жүзінде түзілмейтінін көрсетті, яғни әлсіз сілтілі ортада β-ТД күміс иондарын тотықсыздандырмайды. Дегенмен, pH-тың 9-12-ге дейінгі аралығында және ерітінді температурасы 70-75°C-қа дейін көтерілгенде, УК-спектрінің 410-415 нм аймағында біртіндеп анық күміс нанобөлшектерінің беттік плазмондық резонанс жолағының сызықтық көрсеткіші пайда болады (сурет 1). Ерітінді температурасының көтерілу жағдайларда AgNPs нанобөлшектер ерітіндісінің түсі ашық сары түске айналып, біртіндеп сарғыш-қоңыр түске ауысып отырады, бұл ерітіндіде күміс нанобөлшектерінің түзілуін көрсетеді. Ерітіндіде тұрақтандырғыш болмаған кезде күміс нанобөлшектерінің өлшемдері ұлғайып, олар ерітіндіде біртіндеп сұрлы күміс тұнбалары түрде түсе бастайды. Әдетте, УК-спектрінің 400-430 нм аймағында сфералық күміс нанобөлшектерінің күшті жұтылу шыңы болады, бұл олардың беттік плазмондық резонансына сәйкес келеді [7,8].

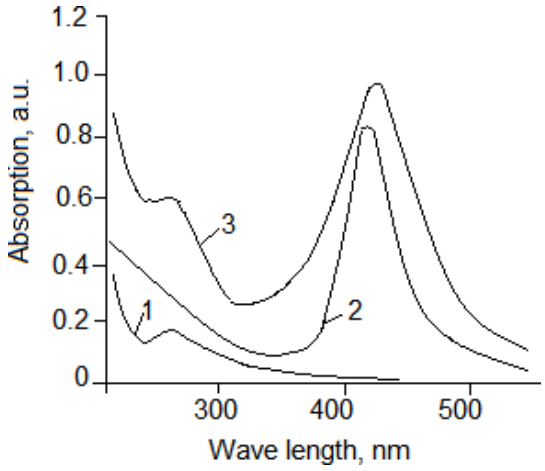
Ерітіндіде тұрақтандырғыш реагенттің болуы субстраттың тотықсыздану сипатына, AgNPs беттік плазмондық резонанс жолағының ультракүлгін спектрлеріндегі орналасуы мен қарқындылығына айтарлықтай әсер ететіні белгілі [9]. Сондықтан, AgNPs нанобөлшектері бар β-ТД кешендерінің спектрлік сипаттамаларын зерттеу AgNPs мен олигосахарид (тұрақтандырғыш) молекулалары арасындағы өзара әрекеттесу туралы ақпарат береді. 2-суретте әртүрлі pH мән-

дерінде дайындалған AgNPs бар ерітіндінің УК спектрлері (а) және 3-суретте β-ТД ерітіндісінің (1), AgNPs нанобөлшектерінің (2) және β-ТД-AgNPs-клаттратты кешенінің (3) УК жұтылу спектрлері көрсетілген.2(а,б)-суреттегі деректерден көрініп тұрғандай, Ag^+ тотықсыздануы тек сілтілі ортада қарқынды жүреді. 400 нм-ге жақын аймақтағы спектрлік максимумдар оқшауланған және әлсіз өзара әрекеттесетін күміс нанобөлшектерінің беттік плазмондық резонансына (БПР) сәйкес келеді. Көрінетін аймақта айтарлықтай жұтылуы бар УК спектрлеріндегі сипаттамалық шың металл нанобөлшектерінің түзілуінің нәтижесі болып табылады [10].

2 және 3-суреттердегі мәліметтерден көрініп тұрғандай, β-ТД ерітіндісінің сіңіру максимумы 275-280 нм (1) аймағында, ал күміс иондарының сіңірілу жолақтары - 400-425 нм (2) аймағында көрініп тұр. 440-450 нм толқын ұзындығында ерітіндідегі β-ТД-AgNPs кешенінің сіңіру жолағы байқалады (3) (сурет 3). Алынған деректерді талдаудан β-ТД-AgNPs кешенінің түзілуі кезінде электромагниттік өрістің әсерінен бөлшектердің беттік плазмон резонанс жолағының (БПР) батохромдық ығысуы жүреді деген қорытынды жасауға болады, себебі күмістің нанобөлшектері де электростатикалық қасиеттерді көрсете алады [11]. NaOH концентрациясының жоғарылауымен сіңіру қисықтарындағы максимум жоғарылайды, оның ені азаяды, себебі синтезделген күміс нанобөлшектерінің өлшемі азаяды және плазмон шыңының көрінісі ұзын толқын ұзындықтарына қарай - 414-425 нм-ге дейін ығысады. Осылайша, аздап сілтілі ортада синтездеу кезінде күміс нанобөлшектерінің өлшемі наноөлшемді мәндерге дейін азаяды. NaOH концентрациясының одан әрі артуы синтезделген нанобөлшектердің өлшемінің артуына әкеледі.



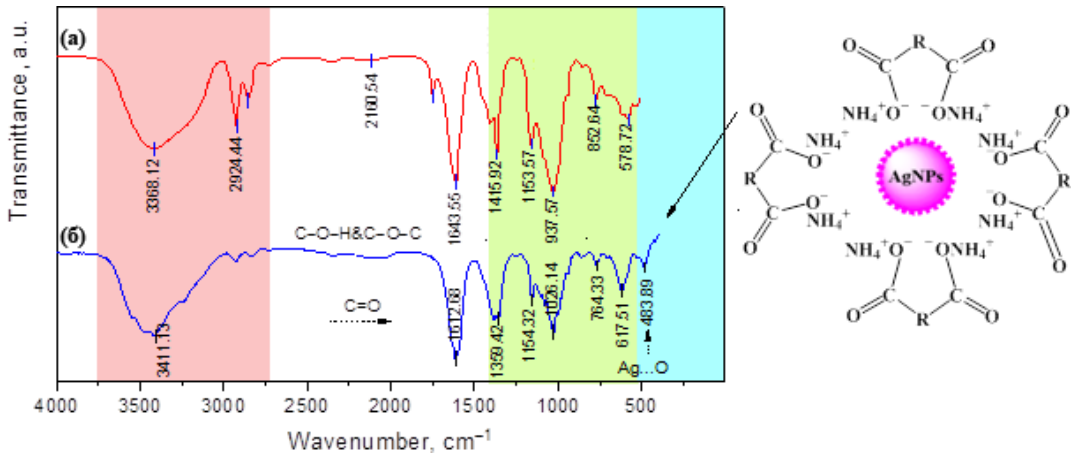
2-сурет.75°С температурада (τ = 2 сағ.) AgNPs ерітіндісінің жұтылу спектрлерінің сипатына ерітіндінің pH мәні әсер етеді.



3-сурет. β-ТД ерітінділерінің (1), AgNPs нанобөлшектерінің дисперсиясының (2) және β-ТД қатысуымен AgNPs нанобөлшектерінің УК жұтылу спектрлері (3)

Осылайша, сілтілік жағдайлар β-ТД-нің ОН топтарының депротонациясын күшейтетіні анықталды. Бұл күміс нанобөлшектерінің түзілуі мен тұрақтануын айтарлықтай жеңілдетеді және олардың беткі қабаттары оң зарядталғандықтан болады [10-12]. Күміс нанобөлшектерінің коллоидты ерітінділері ерекше оптикалық қасиеттерді көрсетеді - олардың түсі бөлшектердің өлшеміне байланысты өзгеріп отырады. Бөлшектердің өлшемі ұлғайған сайын (20-дан 200 нм-ге дейін), олардың түсі келесідей өзгереді: сары-жасыл-қоңыр-сұр.

Қалыптасқан β-ТД-AgNPs нанокомпозитінің құрылымын ИҚ және ЯМР спектроскопиясы арқылы зерттеу. 4-суретте β-ТД және β-ТД-AgNPs кешенінің ИҚ спектрлері көрсетілген.3368 және 3411 $см^{-1}$ аймағындағы β-ТД (а) және β-ТД–AgNPs (б) молекуларындағы ОН топтарының жұтылу жолақтарының өзгеру сипаттары көрініс тауып тұр.2924 $см^{-1}$ аймағындағы шыңдар β-ТД-ның СН-топтары байланыстарының созылу тербелістеріне жатады. Бастапқы β-ТД карбонилді С=О топтары 1643 $см^{-1}$ аймағында жұтылу жолақтарына ие, ал β-ТД-AgNPs кешенінің ИҚ спектрлерінде бұл С=О жолақтары 1612 $см^{-1}$.852, 764 және 578 см $^{-1}$ аймақтарындағы жолақтар пиранозды сақинаның қаңқалық тербелістеріне жатады.1359 $см^{-1}$ (β-ТД-AgNPs) аймағындағы жолақтардың пайда болуын CH_2 иілу сипатына, ал 1026 $см^{-1}$ аймағындағы жолақ СО созылу тербелістеріне жатқызуға болады [13]. β-ТД және β-ТД-AgNPs-лердегі С-О-С асимметриялық созылу тербелістерін сәйкесінше 1153 $см^{-1}$ және 1154 $см^{-1}$ аймағында байқауға болады [13,14].



4-Сурет. β-ТД(b), β-ТД-AgNP(c) үшін инфрақызыл спектр

β-ТД-AgNPs-тері бар инклюзивті кешеннің спектрлік сипаттамалары ^{1}H,^{13}C ЯМР спектроскопиясының деректерімен, сондай-ақ екі өлшемді COSY (^{1}H-^{1}H) және HMQC (^{1}H-^{13}C) спектрлерін талдау арқылы да сипатталды. Кестеде келтірілген деректер бойынша бұл спектрлерді талдау β-ТД-AgNPs-тері инклюзивті кешеніндегі протондық химиялық ығысуларының мәндеріндегі ең үлкен айырмашылық тек β-олигосахаридтің Н-3 және Н-5 атомдарында ғана байқалатынын көрсетті. ИҚ және ЯМР спектроскопиясы арқылы алынған β-ТД-AgNPs нанокомпозитінің құрылымын зерттеу нәтижелері β-ТД-AgNPs молекулалары арасындағы әлсіз байланысты көрсетеді [15].

1-кесте. ^{1}H және ^{13}C ЯМР спектрлерінде β-ТД-нің бос күйдегі және β-ТД-AgNPs қосылу кешенінің құрамындағы химиялық ығысулары (Δδ)

Атомдар саны	β-ТД (δо) (м.д.)		β-ТД-AgNPs (δ) (м.д.)		Δδ (δ-δо) (м.д.)	
	δ(^{1}H)	Δ (^{13}C)	δ(^{1}H)	Δ (^{13}C)	δ (^{1}H)	Δ (^{13}C)
C1	4.823	102.43	4.736	102.23	-0.087	-0.18
C2	3.543	72.85	3.455	72.81	-0.078	-0.04
C3	3.510	73.55	3.395	73.43	-0.115	-0.12

C4	3.477 82.15	3.439 82.08	-0.038 -0.07
C5	3.352 72.51	3.236 72.39	-0.116 -0.12
C6	3.630 60.37	3.547 60.24	-0.083 -0.13

Қорытынды. Осылайша, біздің тәжірибелік нәтижелеріміз ерітіндінің pH мәні мен температурасы β-ТД-AgNPs нанокомпозитінің суда еритін клатрат түрінің түзілуінде маңызды рөл атқаратынын көрсетеді. Сілтілік жағдайлар β-ТД олигосахаридінің ОН топтарының депротонациясына ықпал етеді, бұл күміс нанобөлшектерінің беткі қабат жабындарының тұрақтануына әкеледі. Тәжірибелік нәтижелер күміс нанобөлшектерінің бейтарап және әлсіз сілтілік орталарда және төмен температуралы сұйық ерітінділерде түзілмейтінін көрсетеді.

Литература

1. Sharma V.K., Yngard R.A., Lin, Y. Silver nanoparticles: Green synthesis and their microbial activities // Advances Colloid and Interface Scince. -2009. -Vol.145. -P.83–96. DOI 10.1016/j.cis.2008.09.002.

2. Li W., Wang J., Chi H., Wei G., Zhang J., Dai L. Preparation and antibacterial activity of composite fibers made of polyvinyl alcohol/regenerated silk fibroin containing Ag nanoparticles. // Journal of Applied Polymer Science. -2012. -Vol.123(1). -P.20-25. DOI 10.1002/app.34434.

3. Caro C., Castillo P.M., Klippstein R., Pozo D., Zaderenko A.P. Silver Nanoparticles: Sensing and Imaging Applications// Silver Nanoparticles. InTech- 2010. DOI 10.5772/8513.

4. Deng Z., Zhu H., Peng B., et al. Synthesis of PS/Ag nanocomposte spheres with catalytic and antibacterial activites. // ACS Applied Materials Interfaces. -2012. -Vol.4(10). - P.5625-5632. DOI 10.1021/am3015313 .

5. He Y., Du Z., Lv H., et al. Green synthesis of silver nanoparticles by Chrysanthemum morifolium Ramat. Extract and their aoolication in clinical ultrasound gel // International Journal Nanomedicine. -2013. -Vol.8. -P.1809-1815. DOI10.2147/IJN.S43289.

6. Myachina G.F., Korzhova S.A., Ermakova T.G., et al. Silver-poly(1-vinyl-1,2,4-triazole) nanocomposites//Doklady Chemistry. -2008. -Vol.420. -P.123-124. DOI 10.1134/S0012500808050030.

7. Li P., Li S., Wang Y., Zhang Yu, Han G.-Z. Green synthesis of β-ЦД-functionalized monodispersed silver nanoparticles with ehanced catalytic activity // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. -2017. -Vol.520 (5). -P.26-31. DOI 10.1016/j.colsurfa.2017.01.034.

8. Wiley B., Sun Y., Xia Y. Shape-controlled synthesis of metal nanostructures: the case of silver // Chemestry. -2005. -Vol.11(2). - P. 454-463. DOI 10.1002/chem.200400927.

9. Moores A. and Goettmann F. The Plasmon Band in Noble Metal Nanoparticles: An Introduction to Theory and Applications // New Journal of Chemistry. -2006. -Vol.30(8). -P.1121-1132. DOI 10.1039/b604038c.

10. Maillard M., Giorgio S., Pileni M.-P. Tuning the size of silver nanodisks with similar aspectratios: synthesis and optical properties // Journal of Physical Chemistry B. -2003. -Vol.107. - P.2466-2470. DOI 10.1021/jp022357q.

11. Mogensen K.B., Kneipp K. Size-Dependent Shifts of Plasmon Resonance in Silver Nanoparticle Films Using Controlled Dissolution: Monitoring the Onset of Surface Screening Effects //The Journal of Physical Chemistry. -2014. -Vol.118(48). -P.28075-28083. DOI10.1021/jp505632n.

12. Wiley B., Sun Y., Xia Y. Synthesis of silver nanostructures with controlled shapes and properties // Accounts of Chemical Research. -2007. -Vol.40(10). -P.1067-1076. DOI 10.1021/ar7000974.

13. Carbone M., Donia D.T., Sabbatella G., Antiochia R. Silver nanoparticles in polymeric matrices for fresh food packaging // Journal of King Saud University Science. -2016. -Vol.28(4). - P.273-279. DOI 10.1016/j.jksus.2016.05.004.

14. Hernander I.M.S., Aguirre S.I.J., Garsia J. J.O., Cervantes C.M., Camberos E.P. Food Industry Applications of Phyto-Synthesized Silver Nanoparticles // Global Journal of Nutrition & Food Science. -2019. -Vol.2(4). DOI10.33552/GJNFS.2019.02.000537.

15. Fazylov S., NurmaganbetovZh., Nurkenov O., Sarsenbekova A. et al. Synthesis and properties of silver nanoparticles functionalized with β-cyclodextrin and their loading with lupinine and its acetyl derivatives // Molecules. -2025. -Vol.30(16): 3354. DOI 10.3390/molecules30163354.

Авторлар туралы мәлімет

Фазылов С.Д.- ҚР Ұлттық ғылым академиясының академигі, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР Органикалық синтез және көмір химиясы институты, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: faz8990@mail.ru;

Сыздықов А.Қ.-Кіші ғылыми қызметкер, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан, e-mail: ardak.syzdykov.96@inbox.ru;

Нүркенов О.А.-Химия ғылымдарының докторы, профессор, Қазақстан Республикасының Органикалық синтез және көмір химиясы институты, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: nurkenov_oral@mail.ru;

Ахметкалиев С.Ж. – докторант, Қарағанды индустриальды университеті, Теміртау, Қазақстан, e-mail: sanat.akh96@mail.ru;

Кәрімова Б.Н.- Химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Е.А. Бөкетов ат. Қарағанды университеті, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: b.karimowa2011@mail.ru.

Information about the authors

Fazylov S.D.-Academician of NAS RK, Doctor of chemical sciences, Professor, Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry of the Republic of Kazakhstan, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: faz8990@mail.ru;

Syzdykov A.K.- Junior researcher, Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan, e-mail: ardak.syzdykov.96@inbox.ru;

Nurkenov O.A.-Doctor of chemical sciences, Professor, Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry of the Republic of Kazakhstan, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: nurkenov_oral@mail.ru;

Akhmetkaliev S.Zh. -Doctoral student, Karaganda industrial University, Temirtau, Kazakhstan, e-mail: sanat.akh96@mail.ru;

Karimova B.N.-PhD, Associate Professor, E.A. Buketov Karaganda University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail:b.karimowa2011@mail.ru.

МРНТИ 61.45.15; 31.23.21; 31.23.39 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1602**

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСТРАКТА И ФИТОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ *LINARIA VULGARIS* MILL.

[1]Д.К. Нуркадыров✉, [1]Х.И. Итжанова, [2]Wirginia Kukula-Koch, [1]П.Ж. Бекишева
[1]НАО «Карагандинский медицинский университет», Караганда, Казахстан,
[2]Медицинский университет Люблина, Люблин, Польша

✉ *Корреспондент-автор: darhan_2295@mail.ru*

В исследовании изучены технологические параметры и химический состав надземной части *Linaria vulgaris* Mill., собранной во время цветения в Карагандинской области (Республика Казахстан). Сырьё отличалось оптимальными значениями удельной и насыпной массы, пористости и коэффициента поглощения экстрагента.

Проведена экстракция методом мацерации с использованием 96%-ного этанола с последующим упариванием на ротационном испарителе. В результате получен экстракт с выходом 9.19 ± 0.16%. В ходе фитохимического исследования методом HPLC-ESI-QTOF-MS/MS выявлен широкий спектр соединений, включая флавоноиды, фенольные кислоты и фитостерины.

Сравнение экспериментальных и теоретических значений *m/z* подтвердило точность идентификации соединений. Полученные результаты демонстрируют потенциал *Linaria vulgaris* Mill. как источника биологически активных веществ и подтверждают эффективность предложенного метода для стандартизации и последующих фармакологических исследований.

Ключевые слова: *Linaria vulgaris* Mill., лекарственное растение, технологические параметры, экстракт, HPLC-ESI-QTOF-MS/MS, биологически активные вещества.

LINARIA VULGARIS MILL. СЫҒЫНДЫСЫН АЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ ЖӘНЕ ФИТОХИМИЯЛЫҚ ТАЛДАУ

[1]Д.Қ. Нұрқадіров✉, [1]Х.И. Итжанова, [2]Wirginia Kukula-Koch, [1]П.Ж. Бекишева
[1]«Қарағанды медицина университеті» КеАҚ, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Люблин медицина университеті, Люблин, Польша,
e-mail: darhan_2295@mail.ru

Зерттеу жұмысында Қарағанды облысы (Қазақстан Республикасы) аумағында гүлдену фазасында жинақталған *Linaria vulgaris* Mill. өсімдігінің жер үсті бөлігінің технологиялық параметрлері мен химиялық құрамдары зерттелді. Шикізаттың меншікті және үйінді массасының, кеуектілігінің және экстрагентті сіңіру коэффициентінің оңтайлы мәндерімен ерекшеленді.

Экстракция 96% этанол арқылы мацерация әдісімен жүргізіліп, ротациялық булатқышта қоюландырылды. Сығынды шығымы 9.19 ± 0.16% болды. HPLC-ESI-QTOF-MS/MS әдісімен жүргізілген фитохимиялық талдау флавоноидтар, фенолдық қышқылдар және фитостеролдар сияқты кең спектрлі қосылыстар бар екенін анықтады.

Тәжірибелік және теориялық *m/z* мәндерін салыстыру қосылыстардың дәл анықталғанын көрсетті. Алынған нәтижелер *Linaria vulgaris* Mill. өсімдігінің биологиялық белсенді қосылыстар көзі ретінде әлеуетін көрсетеді және ұсынылған әдістің стандарттау және одан әрі фармакологиялық зерттеулер үшін тиімділігін растайды.

Түйін сөздер: *Linaria vulgaris* Mill., дәрілік өсімдік, технологиялық параметрлер, сығынды, HPLC-ESI-QTOF-MS/MS, биологиялық белсенді қосылыстар.

EXTRACT PRODUCTION TECHNOLOGY AND PHYTOCHEMICAL ANALYSIS OF *LINARIA VULGARIS* MILL.

[1]D.K. Nurkadirov✉, [1]Kh.I. Itzhanova, [2]Wirginia Kukula-Koch, [1]P.Zh. Bekisheva

[1]*NCJSC «Karaganda Medical University», Karaganda, Kazakhstan,*
[2]*Medical University of Lublin, Lublin, Poland,*
e-mail: darhan_2295@mail.ru

The study investigated the technological parameters and phytochemical composition of the aerial parts of *Linaria vulgaris* Mill. collected during the flowering stage in the Karaganda region (Republic of Kazakhstan). The raw material exhibited optimal bulk and tapped density, porosity, and solvent absorption capacity.

Extraction was performed by maceration using 96% ethanol, followed by rotary evaporation, yielding 9.19 ± 0.16% of dry extract. Phytochemical profiling by HPLC-ESI-QTOF-MS/MS revealed a diverse range of metabolites, including flavonoids, phenolic acids, and phytosterols.

The comparison of experimental and theoretical *m/z* values confirmed reliable compound identification. The results highlight the potential of *Linaria vulgaris* Mill. as a source of bioactive compounds and support the proposed extraction method for standardization and further pharmacological studies.

Keywords: *Linaria vulgaris* Mill., medicinal plant, technological parameters, extract, HPLC-ESI-QTOF-MS/MS, bioactive compounds.

Введение. Лекарственные растения представляют собой ценный источник фитопрепаратов с широким спектром фармакологического действия и сравнительно низким риском побочных эффектов. В связи с активным развитием химии природных соединений поиск новых видов растительного сырья остаётся актуальным. Растения рода *Linaria* издавна используются в народной медицине и содержат разнообразные биологически активные соединения [1].

Льнянка обыкновенная (*Linaria vulgaris* Mill.) - многолетнее травянистое растение семейства норичниковых (*Scrophulariaceae*), вегетативно подвижный корнеотпрысковый гемикриптофит. Произрастает на сорных местах, склонах, вдоль дорог, на полях, пастбищах и в разреженных лесах.

Растение содержит биологически активные вещества: алкалоид пеганин, флавоноидные гликозиды (линарин, неолинарин, пектолинарин), а также каротиноиды, дубильные вещества, фитостерины, аскорбиновую и органические кислоты. Надземная часть характеризуется наличием соединений разной полярности, которые, согласно литературным данным, могут проявлять антимикробную активность, что указывает на перспективность *L. vulgaris* Mill., как источника потенциальных антибактериальных и противогрибковых средств [1-2].

По результатам исследований установлены особенности строения надземных органов льнянки обыкновенной, произрастающей на территории Центрального Казахстана. Выявлены диагностические признаки на микроскопическом уровне, используемые для идентификации и подтверждения подлинности растительного сырья [3].

Ранее нами были проведены гистохимические исследования, позволившие установить локализацию в тканях листа и стебля флавоноидов, фенольных соединений, следов эфирных масел, алкалоидов и сесквитерпеновых лактонов [4]. Исследован аминокислотный состав с использованием методов хроматографии растительного сырья *L. vulgaris* Mill., произрастающей на территории Центрального Казахстана. Установлен, качественный состав и содержание свободных и связанных аминокислот. В результате анализа в исследуемом сырье определено 20 аминокислот. Проведенные исследования показали, что в сырье *L. vulgaris* Mill., содержатся как заменимые, так и незаменимые аминокислоты [5].

Таким образом, в продолжение ранее проведённых исследований, актуальной является разработка рациональной технологии получения густого экстракта из надземной части льнянки обыкновенной (*L. vulgaris* Mill.), обеспечивающей эффективное извлечение комплекса биологически активных веществ.

Материалы и методы. Для анализа использо-

ваны этанольные извлечения надземной части *L. vulgaris* Mill., собранной в фазу цветения в июле 2023 года в Карагандинской области (Республика Казахстан).

Сбор растительного сырья осуществлялся с соблюдением принципов рационального природопользования без нанесения ущерба популяции вида.

Исследование выполнено в соответствии с основными положениями надлежащей лабораторной практики (GLP). Высушенное сырьё измельчали до частиц размером 0,5-2,5 мм.

Определение технологических параметров *L. vulgaris* Mill. проведено в соответствии с методиками, изложенными в Государственной фармакопее Республики Казахстан (ГФ РК, т.1).

В качестве экстрагента использовали 96%-ный этанол. Соотношение сырьё: экстрагент составляло 1:10. Экстракцию проводили методом мацерации с нагреванием на водяной бане в течение 3 часов с последующей фильтрацией и упариванием извлечений на ротационном испарителе при температуре 50 °С.

Исследование состава экстракта методом HPLC-ESI-QTOF-MS/MS.

Исследование выполнено на кафедре фармакогнозии фармацевтического факультета Люблинского медицинского университета (Люблин, Польша).

Для проведения анализа методом HPLC-ESI-QTOF-MS/MS проводили подготовку образцов.10 мг каждого экстракта переносили в пробирки типа Eppendorf и растворяли в смеси метанола и воды (50:50, v/v) до концентрации 10 мг/мл.

Полученные растворы перемешивали на вортексе в течение 5 минут, после чего подвергали центрифугированию. Надосадочную жидкость фильтровали через нейлоновый шприцевый фильтр с размером пор 0,1 мкм непосредственно в виалы автосамплера.

Подготовленные таким образом образцы анализировали методом ВЭЖХ, сопряжённого с масс-спектрометрией высокого разрешения (HPLC-ESI-QTOF-MS/MS).

Для получения масс-спектрометрических «отпечатков» и проведения ненаправленного анализа использовали систему HPLC-ESI-QTOF-MS/MS (Agilent Technologies, Santa Clara California, USA). Сбор и первичную обработку данных осуществляли с помощью программного обеспечения MassHunter Workstation (версия B.10.00), а последующую обработку - в программе Mass Profiler Professional (версия 15.1).

Извлечение молекулярных признаков из хроматографических данных выполняли с использованием программы Profinder (версия 10.0.02). В результате формировали список значений m/z с соответствующими временами удерживания и площадями пиков с последующим экспортом данных в формат CSV для проведения хемометрического анализа.

Данные фильтровали по следующим критериям: допуск по массе - 10 ppm, отклонение времени удерживания - не более 0,3 мин, минимальная площадь пика - не менее 1% от максимального сигнала. Отфильтрованные данные группировали в пять категорий в соответствии с образцами (A-E). Дальнейший анализ проводили с использованием программы Mass Profiler Professional.

Обсуждение и результаты. Были изучены технологические параметры надземной части *L. vulgaris* Mill., которые позволяют оценить пригодность растительного сырья для получения экстрактов. Результаты определения основных показателей представлены в Таблице 1. Они показывают, что сырьё характеризуется значениями удельной и насыпной массы, а также пористости и свободного объёма, которые обеспечивают эффективное проникновение экстрагента и создают благоприятные условия для извлечения биологически активных веществ. Оптимальность данных параметров оценивалась с точки зрения их влияния на процесс экстракции.

Анализ технологических параметров надземной части *L. vulgaris* Mill. показал, что сырьё обладает достаточно высокой пористостью и свободным объёмом, что благоприятно для проникновения экстрагента и эффективного извле-

чения биоактивных соединений. Коэффициенты поглощения экстрагента подтверждают, что 96% этанол обеспечивает высокую степень экстракции целевых веществ.

Таблица 1 - Результаты определения технологических параметров надземной части льнянки обыкновенной (*L. vulgaris* Mill.), %

№	Технологические параметры	Установленные значения
1	Удельная масса	1.60±0.02
2	Объемная масса	0.45±0.01
3	Насыпная масса	0.33±0.01
4	Пористость	0.72±0.01
5	Порозность	0.24±0.02
6	Свободный объем	0.78±0.01
Коэффициент поглощения экстрагента:		
7	50% спирт	2.87±0.05
8	70% спирт	3.46±0.04
9	96% спирт	2.96±0.02

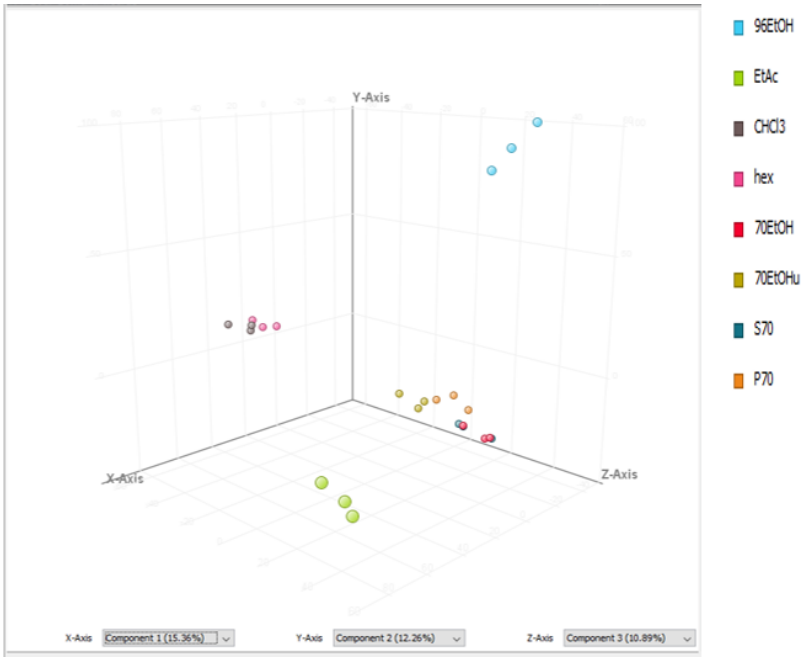


Рис.1 - Результаты анализа главных компонент (PCA) экстрактов растения, полученных различными методами и растворителями (70EtOH, 70EtOHu, 96EtOH, P70, S70, Hex, EtAc, $CHCl_3$). Разделение точек отражает различия в химическом составе экстрактов

Экстракты *Linaria vulgaris Mill.* были получены с использованием различных методов экстракции и растворителей, включая мацерацию в 70% и 96% этаноле, ультразвуковую экстракцию (70EtOHu), перколяцию (P70), экстракцию по Сокслету (S70), а также экстракцию неполяр-

ными и среднеполярными растворителями (гексан, этилацетат и хлороформ).

Все полученные экстракты были проанализированы методом HPLC-ESI-QTOF-MS/MS для получения профиля метаболитов.

Полученные LC-MS данные были использованы как матрица признаков для хемометрического анализа методом PCA, что позволило оценить различия между образцами на основе их молекулярного состава и выявить их естественную кластеризацию в зависимости от условий экстракции.

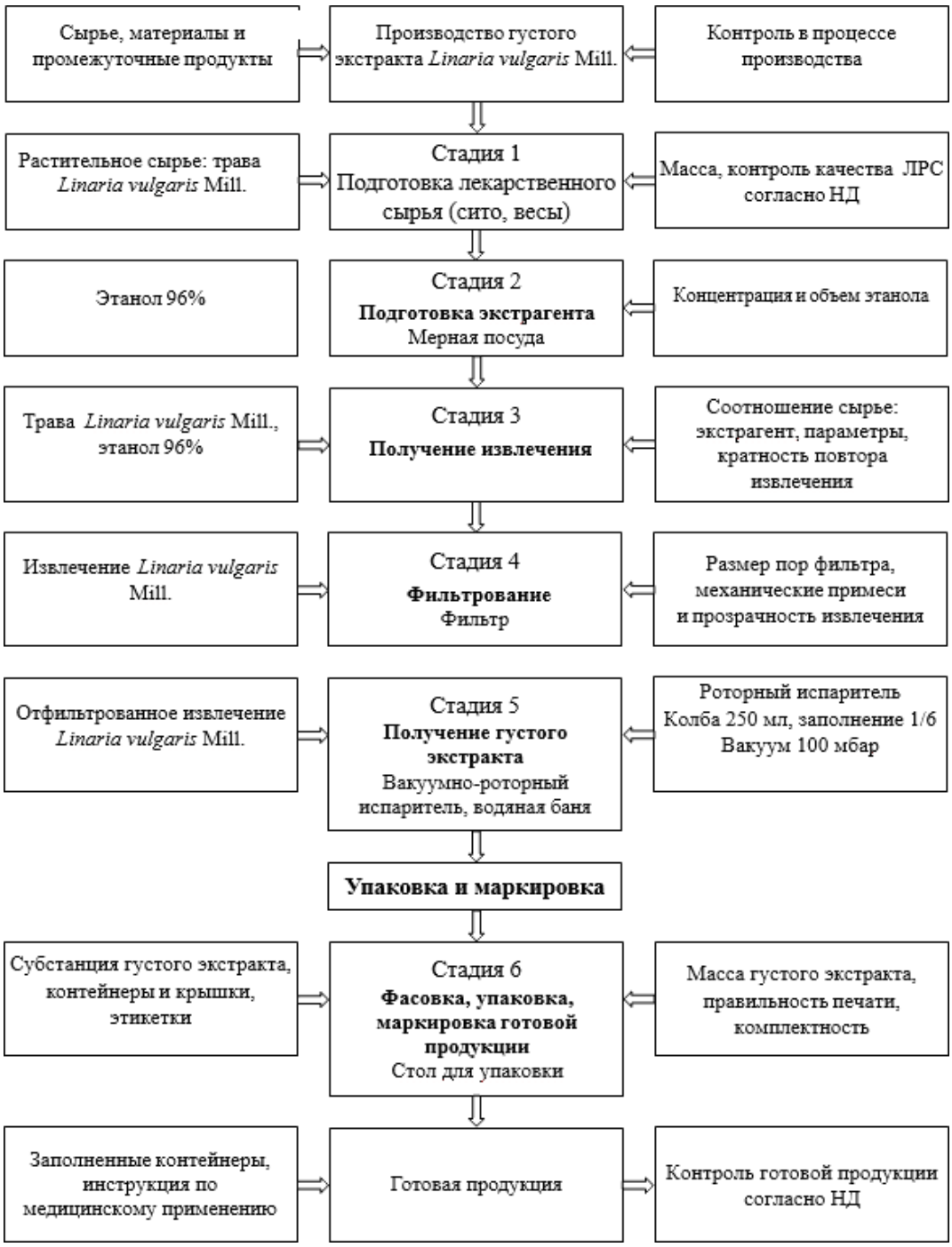


Рис.2 - Технологическая схема производства густого экстракта *L. vulgaris* Mill.

На PCA наблюдается выраженное разделение образцов в пространстве главных компонент, что указывает на различия в их метаболическом профиле. Первые три компоненты объясняют 38.51% общей вариации данных.

Экстракты демонстрируют тенденцию к кластеризации в зависимости от природы растворителя, при этом наблюдается частичное внутригрупповое разделение, обусловленное методом экстракции (мацерация, ультразвук, Soxhlet, перколяция).

PCA-анализ показал, что кластеризация отражает влияние полярности растворителя и метода экстракции на химический состав экстрактов. Полярные системы (70% и 96% этанол) ассоциированы с фенольными соединениями и флавоноидами, тогда как неполярные растворители (гексан, хлороформ) - с липофильными компонентами.

На основании полученных результатов 96% этанол был выбран как оптимальный растворитель для дальнейшей технологической оптимизации и получения густого экстракта.

Разработана технологическая схема получения густого экстракта, состоящая из 6 стадий. Основными стадиями являются: подготовка растительного сырья, экстракция, фильтрация, концентрирование извлечения, очистка и получение густого экстракта (рисунок 2).

Таблица 2 - Предварительно идентифицированные и отслеженные молекулы в анализируемом экстракте *L. vulgaris* Mill. (экстрагент 96% этанол Р)

№	Ион	Rt (мин)	Формула	m/z (exp.)	Соединение	Лит.
1	[M+H]	11.885	$C_{11}H_{12}N_2O$	189.1014	Пеганин (vasicine)	[6]
2	[M−H]	12.144	$C_{17}H_{13}O_6$	313.0716	Пектолинаригенин	[7]
3	[M−H]	14.062	$C_8H_7O_3$	151.0394	п-Гидроксифенилуксусная кислота	[8]
4	[M−H]	15.897	$C_{22}H_{21}O_{11}$	475.1822	Диосметин-О-глюкуронид	[8]
5	[M−H]	16.230	$C_{21}H_{19}O_{11}$	447.0915	Цинарозид (лютеолин-7-О-глюкозид)	[8]
6	[M−H]	16.530	$C_{22}H_{21}O_{10}$	445.1141	Эспидулин-О-гексозид	[8]
7	[M−H]	18.816	$C_{27}H_{29}O_{15}$	593.1509	Кемпферол-О-рутинозид	[8]
8	[M−H]	19.816	$C_{28}H_{31}O_{15}$	607.1681	Диосметин-7-О-рутинозид (диосмин)	[8]
9	[M−H]	19.983	$C_{27}H_{29}O_{16}$	609.1427	Рутин	[8]
10	[M−H]	21.034	$C_{15}H_9O_7$	301.0377	Кверцетин	[8]
11	[M−H]	21.384	$C_{15}H_9O_5$	269.0417	Апигенин	[8]
12	[M−H]	27.789	$C_{15}H_{11}O_5$	271.0662	Нарингенин	[8]
13	[M+H]	28.407	$C_{29}H_{50}O$	415.3920	β-ситостерол	[9]

Выход экстракта составил 9.19 ± 0.16%, что подтверждает эффективность выбранного метода. Полученные экстракты представляли собой концентрированные растворы, сохраняющие широкий спектр биологически активных соединений.

Хроматограмма анализируемого образца показала наличие множества соединений с различными временами удерживания. Идентификация

веществ на основе данных масс-спектрометрии и MS/MS-фрагментации позволила составить список компонентов, представленный в таблице 2. Среди выявленных соединений преобладали флавоноиды, фенольные кислоты, тритерпены и фитостерины, что подтверждает широкий спектр биологически активных веществ в экстрактах.

Масс-спектрометрический анализ HPLC-ESI-QTOF-MS/MS позволил идентифицировать ряд флавоноидов, фенольных кислот, тритерпенов и фитостеринов, которые характерны для *L. vulgaris* Mill. Среди них были апигенин, кверцетин, рутин, пектолинаригенин и β-ситостерол. Их наличие может объяснять известные биологические эффекты растения, описанные в литературе [1,2], включая антиоксидантную и антимикробную активность.

Сравнение экспериментальных значений *m/z* с расчетными подтверждает точность масс-спектрометрического метода и высокую достоверность идентификации соединений. Кроме того, различия в химическом составе отдельных образцов могут быть связаны с географическими и фенологическими особенностями сбора сырья.

В отличие от исследований [10], в которых для извлечения флавоноидов применялась вакуум-фильтрационная экстракция, в настоящей работе использован метод мацерации с 96% этанолом. Такой подход позволил получить экстракт с выходом 9,19% и обеспечивает извлечение более широкого спектра извлекаемых соединений. По результатам фитохимического анализа, помимо основных флавоноидов (пектолинаригенин, рутин), был дополнительно выявлен алкалоид пеганин, а также ряд липофильных компонентов, включая β-ситостерол, что указывает на более полный профиль извлечённых биологически активных веществ.

Результаты исследования подтверждают эффективность предложенной методики экстракции и демонстрируют возможность применения HPLC-ESI-QTOF-MS/MS для детальной характеристики химического состава *L. vulgaris* Mill. Полученные данные могут быть использованы для стандартизации растительного сырья и дальнейших фармакологических исследований.

Выводы. Таким образом, надземная часть *L. vulgaris* Mill. характеризуется технологическими параметрами, благоприятными для извлечения биологически активных веществ. Экстракция 96% этанолом методом мацерации обеспечивает получение концентрированных извлечений с широким спектром соединений.

Разработана рациональная технологическая схема, включающая 6 стадий, обеспечивающая получение воспроизводимого густого экстракта *L. vulgaris* Mill. с выходом 9.19 ± 0.16%.

Метод HPLC-ESI-QTOF-MS/MS позволил провести качественную идентификацию флавоноидов, фенольных кислот и фитостеринов, включая апигенин, кверцетин, рутин, пектолинаригенин и β-ситостерол.

Полученные результаты подтверждают перспективность *L. vulgaris* Mill. как источника биологически активных веществ с потенциальной фармакологической значимостью. Вместе с тем для более полного обоснования их биологической активности необходимы дальнейшие количественные исследования и углублённая оценка фармакологических свойств.

Литература

1. Vrchovská V., Spilková J., Valentão P., Sousa C., Andrade P.B., Seabra R.M. Assessing the antioxidative properties and chemical composition of *Linaria vulgaris* infusion // Natural Product Research. -2008. -Vol.22(9). -P.735-746. DOI 10.1080/14786410601132360.

2. Bombela T.V., Krotkova O.A., Galishevskaya E.E., Anisimova A.G., Yagontseva T.A., Agafontseva A.V., Novikova V.V., Whaley A.K., Ponkratova A.O., Luzhanin V.G. Component composition and antimicrobial activity of fractions from the aerial part of common toadflax (*Linaria vulgaris* Mill.) // Drug development & registration. -2022. -Vol.11(4). -P.48-56. DOI 10.33380/2305-2066-2022-11-4(1)-48-56.

3. Итжанова Х.И., Нуркадыров Д.К., Ишмуратова М. Ю., Абдрахманова Г.М. Тулебаев Е.А., Кошербек А.Б. Анатомическое изучение растении льнянки обыкновенной (*Linaria vulgaris* Mill.), произрастающей в центральном Казахстане// Фармация Казахстана. -2024. -№ 6. - С.297-302. DOI 10.53511/pharmkaz.2025.36.51.039.

4. Itzhanova Kh.I., Nurkadirov D.K., Ishmuratova M.Yu., Kosherbek A.B., Baidullayeva S.A., Poleszak E. Histochemical analysis of raw materials of *Linaria vulgaris* Mill. growing in Central Kazakhstan // Research Journal of Pharmacy and Technology. -2024. -Vol.17(9). -P. 4477–4480. DOI 10.52711/0974-360X.2024.00692.

5. Nurkadirov D.K., Itzhanova Kh.I., Kosherbek A. Study of amino acid composition of *Linaria vulgaris* Mill. // I International scientific and practical online conference “Modern achievements of experimental, clinical, environmental biochemistry and molecular biology”. Ukraine. - 2024. - P.408-410.

6. Hua H., Cheng M., Li X., Pei Y. A new pyrroloquinazoline alkaloid from *Linaria vulgaris* // Chemical and Pharmaceutical Bulletin. - 2002. - Vol.50(10). -P.1393-1394. DOI 10.1248/cpb.50.1393.

7. Cheriet T., Mancini I., Seghiri R., Benayache F. Chemical constituents and biological activities of the genus *Linaria* (Scrophulariaceae) // Natural Product Research. - 2015. -Vol.29(17). - P.1-25. DOI 10.1080/14786419.2014.999243.

8. Sedlarević A., Morina F., Toševski I., Gašić U., Natić M., Jović J., Krstić O., Veljović-Jovanović S. Comparative analysis of phenolic profiles of ovipositional fluid of Rhinusa pilosa (Mecinini, Curculionidae) and its host plant *Linaria vulgaris* (Plantaginaceae) // Arthropod-Plant Interactions. -2016. -Vol.10. -P. 311-322. DOI 10.1007/s11829-016-9435-y.

9. Rzadkowska-Bodalska H., Kowalczyk-Ożem B., Lamer-Zarawska E. Chemical and biological investigation of lipophilic fraction of *Linaria vulgaris* Mill. (Scrophulariaceae) // Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Biological Sciences. -1995. -Vol.43. - P.179–184.

10. Елькина О.В., Шрамм Н.И., Молохова Е.И., Петриченко В.М. Оптимизация процесса экстракции биологически активных веществ из травы льнянки обыкновенной // Химико-фармацевтический журнал. - 2014. - Т.48(4). - С. 44-46.

References

1. Vrchovská V., Spilková J., Valentão P., Sousa C., Andrade P.B., Seabra R.M. Assessing the antioxidative properties and chemical composition of *Linaria vulgaris* infusion // Natural Product Research. -2008. -Vol.22(9). -P.735-746. DOI 10.1080/14786410601132360.

2. Bombela T.V., Krotkova O.A., Galishevskaya E.E., Anisimova A.G., Yagontseva T.A., Agafontseva A.V., Novikova V.V., Whaley A.K., Ponkratova A.O., Luzhanin V.G. Component composition and antimicrobial activity of fractions from the aerial part of common toadflax (*Linaria vulgaris* Mill.) // Drug development & registration. -2022. -Vol.11(4). -P.48-56. DOI 10.33380/2305-2066-2022-11-4(1)-48-56.

3. Itzhanova H.I., Nurkadyrov D.K., Ishmuratova M. Ju., Abdrahmanova G.M. Tulebaev E.A., Kosherbek A.B. Anatomicheskoe izuchenie rastenii l’ njanki obyknovennoj (Linaria vulgaris Mill.), proizrastajushhej v central’ nom Kazahstane// Farmacija Kazahstana. -2024. -№ 6. - C.297-302. DOI 10.53511/pharmkaz.2025.36.51.039. [in Russian]

4. Itzhanova Kh.I., Nurkadirov D.K., Ishmuratova M.Yu., Kosherbek A.B., Baidullayeva S.A., Poleszak E. Histochemical analysis of raw materials of *Linaria vulgaris* Mill. growing in Central Kazakhstan // Research Journal of Pharmacy and Technology. -2024. -Vol.17(9). -P. 4477–4480. DOI 10.52711/0974-360X.2024.00692.

5. Nurkadirov D.K., Itzhanova Kh.I., Kosherbek A. Study of amino acid composition of *Linaria vulgaris* Mill. // I International scientific and practical online conference “Modern achievements of experimental, clinical, environmental biochemistry and molecular biology”. Ukraine. - 2024. - P.408-410.

6. Hua H., Cheng M., Li X., Pei Y. A new pyrroloquinazoline alkaloid from *Linaria vulgaris* // Chemical and Pharmaceutical Bulletin. - 2002. - Vol.50(10). -P.1393-1394. DOI 10.1248/cpb.50.1393.

7. Cheriet T., Mancini I., Seghiri R., Benayache F. Chemical constituents and biological activities of the genus *Linaria* (Scrophulariaceae) // Natural Product Research. - 2015. -Vol.29(17). - P.1-25. DOI 10.1080/14786419.2014.999243.

8. Sedlarević A., Morina F., Toševski I., Gašić U., Natić M., Jović J., Krstić O., Veljović-Jovanović S. Comparative analysis of phenolic profiles of ovipositional fluid of Rhinusa pilosa (Mecinini, Curculionidae) and its host plant *Linaria vulgaris* (Plantaginaceae) // Arthropod-Plant Interactions. -2016. -Vol.10. -P. 311-322. DOI 10.1007/s11829-016-9435-y.

9. Rzadkowska-Bodalska H., Kowalczyk-Ożem B., Lamer-Zarawska E. Chemical and biological investigation of lipophilic fraction of *Linaria vulgaris* Mill. (Scrophulariaceae) // Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Biological Sciences. -1995. -Vol.43. - P.179–184.

10. El’ kina O.V., Shramm N.I., Molohova E.I., Petrichenko V.M. Optimizacija processa jekstrakcii biologicheski aktivnyh veshhestv iz travy l’ njanki obyknovennoj // Himiko-farmacevticheskij zhurnal. - 2014. - T.48(4). - S.44-46. [in Russian]

Сведения об авторах

Нуркадыров Д.К.-магистр технических наук, докторант НАО «Карагандинский медицинский университет», Караганда, Казахстан, e-mail: darhan_2295@mail.ru;

Итжанова Х.И.-академик Национальной академии наук Республики Казахстан, доктор фармацевтических наук, профессор Школы фармации НАО «Карагандинский медицинский университет», Караганда, Казахстан, e-mail: itzhanova65@mail.ru;

Wirginia Kukula-Koch-профессор, PhD, Люблинский медицинский университет, Люблин, Польша, e-mail: wirginiakukula.koch@umlub.pl;

Бекишева П.Ж.-магистр техники и технологии, ассистент профессора Школы фармации НАО «Карагандинский медицинский университет», Караганда, Казахстан, e-mail: pernesh1983@mail.ru.

Information about the authors

Nurkadirov D.K.-Master of Technical Sciences, doctoral student, NCJSC «Karaganda Medical University», Karaganda, Kazakhstan, e-mail: darhan_2295@mail.ru;

Itzhanova Kh.I.-Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor of the School of Pharmacy, NCJSC «Karaganda Medical University», Karaganda, Kazakhstan, e-mail: itzhanova65@mail.ru;

Wirginia Kukula-Koch - Professor, PhD, Medical University of Lublin, Lublin, Poland, e-mail: wirginiakukula.koch@umlub.pl;

Bekisheva P.Zh. -Master of Engineering and Technology, Assistant Professor at the School of Pharmacy, NCJSC «Karaganda Medical University», Karaganda, Kazakhstan, e-mail: pernesh1983@mail.ru.

МРНТИ 61.51.41 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1572**

ОКТАДЕЦЕН-1 МЕН ДИОКТАДЕЦИЛФУМАРАТ НЕГІЗІНДЕГІ СОПОЛИМЕРЛЕРДІ СИНТЕЗДЕУ ЖӘНЕ ПАРАФИНДІ МҰНАЙЛАРҒА АРНАЛҒАН ДЕПРЕССОРЛЫҚ ҚОСЫМ РЕТІНДЕ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

[1]А.А. Тилегенов, [1]А.И. Әбілхайыров, [1,2]Г.К. Шамбилова, [2]А.С. Калауова, [3]Э.Б. Жунусова

[1]Сафи Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау Қазақстан,
[2]Х.Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау Қазақстан,
[3]Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан

Корреспондент-автор: tlegenov.aisultan@bk.ru

Бұл жұмыста парафинді мұнайлардың төмен температуралық және реологиялық қасиеттерін жақсартуға арналған депрессорлық қоспа ретінде октадецен-1 мен диоктадецилфумарат негізіндегі сополимерлерді синтездеу және олардың тиімділігін зерттеу қарастырылды. Октадецен-1 (ОД) және диоктадецилфумарат (ДОДФ) мономерлерінің радикалды сополимерлену реакциясы бензойл асқын тотығы инициаторының қатысында, толуол ортасында, азот атмосферасында жүргізілді. Әртүрлі мольдік қатынаста (ДОДФ:ОД=1:0,5; 1:1; 1:1,5; 1:2) төрт сополимер синтезделіп, олардың шығымы 74,65-87,12% аралығында болды. Алынған сополимерлердің құрылымы ИҚ-Фурье-спектроскопия әдісімен расталды, ал сипаттамалық тұтқырлық мәндері тұтқырлықты өлшеу әдісімен анықталды. Синтезделген сополимерлер Ақшабұлақ кен орнының парафинді мұнайына 50-500 ppm концентрация аралығында депрессорлық қосым ретінде енгізіліп, олардың мұнайдың реологиялық қасиеттеріне әсері зерттелді. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, ДОДФ:ОД=1:1 мольдік қатынаста алынған сополимер 50 ppm концентрацияда ең жоғары тиімділік көрсетті. Аталған қоспа мұнайдың тұтқырлығын 5 °С температурада 0,83411 Па·с-тен 0,13478 Па·с-ке дейін төмендетіп, ағын жоғалту температурасын 9 °С-ден -3 °С-ке дейін түсірді.

Алынған нәтижелер ОД және ДОДФ негізіндегі сополимерлердің парафинді мұнайлардың ағымдылығын арттыруда және төмен температуралық қасиеттерін жақсартуда тиімді депрессорлық қосым ретінде қолдануға болатынын дәлелдейді.

Түйін сөздер: парафинді мұнай, депрессорлық қосымдар, октадецен-1, диоктадецилфумарат, сополимер, мұнайдың төменгі температуралық қасиеттері.

СИНТЕЗ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ОКТАДЕЦЕНА-1 И ДИОКТАДЕЦИЛФУМАРАТА И ИЗУЧЕНИЕ ИХ СВОЙСТВ В КАЧЕСТВЕ ДЕПРЕССОРНЫХ ДОБАВОК ДЛЯ ПАРАФИНИСТЫХ НЕФТЕЙ

[1]А.А. Тилегенов, [1]А.И. Абилхайров, [1,2]Г.К. Шамбилова, [2]А.С. Калауова, [3]Э.Б. Жунусова

[1]Атырауский университет нефти и газа им. Сафи Утебаева, Атырау, Казахстан,
[2]Атырауский университет имени Х. Досмухамедова»,Атырау, Казахстан,
[3]Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
e-mail: tlegenov.aisultan@bk.ru

В данной работе рассмотрен синтез сополимеров на основе октадецена-1 и диоктадецилфумарата, используемых в качестве депрессорных добавок для улучшения низкотемпературных и реологических свойств парафиновых нефтей, а также изучена их эффективность. Реакция радикальной сополимеризации мономеров октадецена-1 (ОД) и диоктадецилфумарата (ДОДФ) проводилась в толуольной среде в присутствии инициатора - перекиси бензоила - в атмосфере азота. При различных мольных соотношениях ДОДФ: ОД (1:0,5; 1:1; 1:1,5; 1:2) были синтезированы четыре сополимера, выход которых варьировался от 74,65 до 87,12 %. Структура полученных сополимеров подтверждена методом ИК-Фурье-спектроскопии, а значения характеристической вязкости определены вискозиметрическим методом. Синтезированные сополимеры вводили в парафиновую нефть

Акшабулакского месторождения в качестве депрессорной добавки в концентрациях от 50 до 500 ppm и изучали их влияние на реологические свойства нефти. Результаты исследования показали, что сополимер, полученный при мольном соотношении ДОДФ: ОД=1:1, обладает наибольшей эффективностью при концентрации 50 ppm. Указанная добавка снизила вязкость нефти при температуре 5 °С с 0,83411 Па·с до 0,13478 Па·с, а также понизила температуру потери текучести с 9 °С до -3 °С.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что сополимеры на основе ОД и ДОДФ могут быть использованы в качестве эффективных депрессорных добавок для повышения текучести и улучшения низкотемпературных свойств парафиновых нефтей.

Ключевые слова: парафинистая нефть, депрессорные добавки, октадецен-1, диоктадецилфумарат, сополимер, низкотемпературные свойства нефти.

SYNTHESIS OF COPOLYMERS BASED ON OCTADECENE-1 AND DIOCTADECYLPHUMARATE AND STUDY OF PROPERTIES AS A DEPRESSOR ADDITIVE FOR PARAFFIN OILS

[1]A.T. Tilegenov✉, [2]A.I. Abilkhairov, [1,2]G. K. Shambilova, [2]A.S. Kalauova, [3]E.B. Zhunusova

[1]Safi Utebaev Atyrau University of oil and gas,Atyrau, Kazakhstan,
[2]Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan,
[3]K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Астана, Қазақстан,
e-mail: tlegenov.aisultan@bk.ru

This work focuses on the synthesis of copolymers based on 1-octadecene and dioctadecyl fumarate used as pour point depressant additives to improve the low-temperature and rheological properties of paraffinic crude oils, as well as on the evaluation of their efficiency. Radical copolymerization of 1-octadecene (OD) and dioctadecyl fumarate (DODF) monomers was carried out in a toluene medium in the presence of benzoyl peroxide as an initiator under a nitrogen atmosphere. Four copolymers were synthesized at different molar ratios of DODF: OD (1:0.5; 1:1; 1:1.5; 1:2), with yields ranging from 74.65% to 87.12%. The structure of the obtained copolymers was confirmed by FTIR spectroscopy, and the intrinsic viscosity values were determined using a viscometric method. The synthesized copolymers were introduced into paraffinic crude oil from the Akshabulak field as pour point depressant additives at concentrations ranging from 50 to 500 ppm, and their influence on the rheological properties of the oil was investigated. The results showed that the copolymer obtained at a molar ratio of DODF: OD=1:1 exhibited the highest efficiency at a concentration of 50 ppm. This additive reduced the oil viscosity at 5 °C from 0.83411 Pa·s to 0.13478 Pa·s and decreased the pour point from 9 °C to -3 °C.

The obtained results demonstrate that copolymers based on OD and DODF can be effectively used as pour point depressant additives to enhance flowability and improve the low-temperature properties of paraffinic crude oils.

Keywords: paraffinic crude oil, pour point depressant additives, 1-octadecene, dioctadecyl fumarate, copolymer, low-temperature properties of crude oil.

Кіріспе. Бүгінгі таңда әлем бойынша мұнай өндіру секторында байқалатын үрдістердің бірі - қорлары жеделдетілген қарқынмен азайып бара жатқан төмен тұтқырлы мұнай өндірісінің төмендеуі және жоғары тұтқырлы мұнай өндірісінің артуы байқалады. Осыған байланысты тұтқырлығы жоғары, қату температурасы жоғары парафинді мұнайларды тасымалдау мұнай саласын одан әрі дамытудың өзекті бағыты болып табылады. Бұл мұнайларды магистральдық құбырлар арқылы тасымалдау кезінде ең қиын мәселелердің бірі - олардың реологиялық қасиеттерін реттеу.

Депрессорлық қосымдарды қолдану арқылы тасымалдау жоғары парафинді мұнайды тасымалдаудың ең перспективалы әдістерінің бірі бо-

лып табылады [1,2]. Депрессорлық қосымдардың әсері парафиндердің жоғары молекулалық құрамды бөліктеріне, яғни қайнау температурасы жоғары парафиндерге мейлінше тиімді.

Депрессорлық қосымдар-бұл ерімейтін синтетикалық полимерлі өнімдер, олар мұнайдың тұтқырлығы, жылдамдығы және ығысу кернеуі сияқты реологиялық қасиеттерін өзгерте алады. Қосымдарды қолдану жоғары қату температурасы бар парафинді мұнайлардың кристалдану процесін айтарлықтай өзгерте алады және жоғары тұтқырлықтағы және ауыр мұнайларды құбыр арқылы тасымалдаудың перспективалы әдісі болып табылады.

Тұтқырлығы жоғары мұнай-сұйық фазадағы асфальтендер мен мальтендерден, яғни қаныққан көмірсутектерден, ароматты көмірсутектерден және шайырлардан тұратын коллоидтық ерітінді [3]. Мұнайдың құрамындағы асфальтен молекулаларының тұндырылуы мен агрегациясы оның тұтқырлығы мен тығыздығын едәуір арттырады, нәтижесінде құбыр арқылы айдау кезінде ағудың жоғары кедергісі байқалады. Сондықтан бұл әсердің төмендеуі ағынның жоғалу нүктесін төмендететін депрессорлық қосымдарды қолдану арқылы мұнайдың ағуын арттыруға мүмкіндік береді [4].

Мұнайдың ағынды жоғалту нүктесі (немесе қату нүктесі) - бұл мұнай қатып, ағу қасиетін жоғалтатын ең төменгі температура. Сондықтан суық ауа райында құбыр арқылы парафинді мұнайды айдау өте қиын. Себебі температураның төмендеуі кристалдануға әкеледі, бұл мұнай молекулаларының қозғалуын мүмкін емес етеді. Кристалдану ауа райы жағдайларына, мұнай құрамына, тасымалдау кезіндегі температура мен қысымға байланысты.

Полиакрилаттар, полиметакрилаттар, винилацетаты бар полиэтилен сополимері, метакрилат және т.б. сияқты сополимерлерді қосу парафин мен асфальтендердің тұнбаға түсуіне жол бермейді және тасымалдау кезінде мұнайдың және кеме отындарының тұрақтылығын арттырады [5, 6].

Әлемдік тәжірибеде келесі химиялық заттар депрессорлық қосымдар ретінде қолданылады:

- полярлы мономерлері бар этилен сополимерлері (этилен-винилацетат сополимерлері және олардың құрамы, этилен және винилацетат негізіндегі үштік сополимерлер, басқа полярлы мономерлері бар этилен сополимерлері) [7];

- полиолефин типті өнімдер (этилен-пропилен, этилен-пропилен-диен сополимерлері және олардың ыдырау өнімдері, альфаолефин сополимерлері, модификацияланған полиолефиндер);

- полиметакрилат қосымдары (полиалкил (мет)акрилаттар, алкил(мет)акрилаттар сополимерлері);

- полимерлі емес типтегі химиялық заттар (алкилнафталиндер, көп атомды қышқылдар мен спирттердің эфирлері, құрамында ұзын алкилдер бар амидтер).

Өндіріс кезеңдерінде мұнайды тасымалдау мен сақтау барысында туындайтын мәселені қарастыра кетсек, құрамында парафинді шөгінділері бар мұнай, сондай-ақ мұнай құрамындағы алифатты қосылыстардың мөлшері жоғарылаған сайын көмірсутек тізбектері температура төмендеген кезде парафиндердің кристалдануына әкеліп соғады, нәтижесінде мұнай ағымының мөлшері азайып, мұнай тасымалдануы қиындайды. Қысқы уақытта температура айтарлықтай төмендеген кезде құбырларда парафин шөгінділерінің кристалдануы артады. Нәтижесінде өндіріс көлемі қысқарып, пайда болған шөгінділерге техникалық қызмет көрсету және жою тұрғысынан қосымша күш бөлінеді. Бұлардың барлығы парафиннің тұндырылып қалуымен тікелей байланысты [8,9].

Мұнай өндіру және тасымалдау кезеңдерінде туындайтын қиындықтарды шешу әдістерінің бірі - мұнай тасымалдаудың депрессорлық технологиясы болып табылады, бұл құбырлар мен құрылғыларды парафин шөгінділерінің пайда болуын болдырмау үшін қолданылады [10].

Қату температурасын төмендететін депрессорлық қосымдар алу синтезі үшін ұзын алкилді тізбегі бар фумаратты бастапқы реагент ретінде қарастыруға болады, себебі ұзын алкил-

ді бүйірлік тізбекті фумараттар сұйықтық ағымдылығын жақсартқыш ретінде қолдануға тиімді әрі жарамды, алайда олардың молекулалық құрылымы күрделі болғандықтан жоғары молекулалық массаға ие. Сондықтан оларды гополимерлерді мезомерлік және индуктивті әсерге байланысты алу қиын болып табылады, фумарат құрамындағы қос байланысты көміртек электронға тапшы. Дегенмен де, фумаратты стирол, винилацетат және басқа да электронға бай мономерлермен оңай сополимерлену реакциясына түсіріп сополимерлер алуға болады [11,12].

Мақалада [13] малеин ангидриді мен сызықтық α-олефиндерге негізделген сополимерлер синтезделген. Сополимерлерді синтездеу үшін ұзын тізбекті α-олефиндер: додецен-1, тетрадецен-1 және октадецен-1 қолданылған. Сополимерлеу ароматты еріткіш ортасында радикалды полимерлеу әдісімен жүргізіліп, сополимерлер инфрақызыл Фурье спектроскопиясы әдісімен сипатталған. Алынған сополимерлердің төменгі температура кезінде мұнайға депрессорлық қасиеттері зерттелінген.

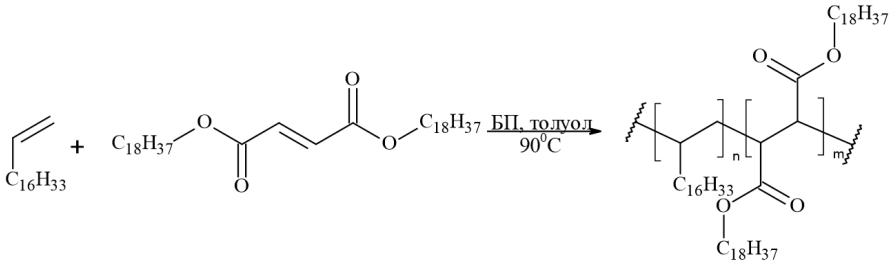
Диоктадецилфумарат мономері мен винилацетаты бар сополимерлерінің синтезі жүргізілген. Мономер мен сополимерлер ИҚ спектрлерімен сипатталды. Қолдану нәтижесі бойынша диоктадецилфумрат және винилацетат негізінде алынған сополимер тұтқырлықтың төмедеуі бойынша бүйірлік тізбектері бар кристалдық құрылымымен байланысты екенін көрсетеді, себебі бүйірлік тізбекті құрылым кристалдық саны артқан сайын тұтқырлық шамасы уақыт бойынша тезірек төмендейді. Тұтқырлығы жоғары мұнай және мұнай қалдықтарының реологиялық қаиеттерін диоктадецилфумарат және винилацетат негізінде алынған сополимер көмегімен өзгертуге болатындығы анықталды және бүйірлік тізбектердегі CH_2 кристалдық саны неғұрлым жоғары болса, сополимер кристалдық торының және мұнай құрамындағы парафинді балауыздың кристалдық құрылымының сәйкестігі соғұрлым байланысты екендігі көрсетілген [14].

Диоктилфумарат мономері мен винилбензоат негізіндегі сополимер синтезі жүргізілген. Зерттеуде мономерлердің екі класс түрінен, нақтырақ эфирден метакрилат немесе малеин ангидридінен немесе парафинді балауыз кристалдарының алдын алушы депрессорлық қоспаның синтезі зерттеген. Зерттеу диоктилфумарат және винилбензоат негізіндегі жаңа сополимер синтезін алуға, және көміртегі саны бойынша жоғары және ұсақ балауызды мұнайлар үшін ағымдылық деңгейін жақсартушы қосым ретінде қарастыруға болатындығын көрсетеді. Сынама нәтижелері мен балауызды мұнайдың реологиялық қасиеттерін қарастыра отырып, молекулалық салмағы төмен және диоктилфумарат мөлшері жоғары сополимер мұнай ағымдылығын жақсартушы ретінде тиімді екені анықталып, сополимер жақсы нәтиже көрсете алатындығы тексерілген [15].

Материалдар мен әдістер. Октадецен-1 (ОД) және диоктадецилфумарат (ДОДФ) мономерлерінің сополимеризациясы жүргізіп, алынған қосылыстарды Ақшабұлақ мұнайына депрессорлық қосым ретінде сыналды. Сополимерлердің құрылымы 400-4000 $см^{-1}$ диапазонында ИҚ-Фурье-спектрометрия әдісімен талданды.

Көлемі 100 мл төрт мойынды колба термометрмен, кері салқындатқышпен, магнитті араластырғышпен жабдықталды, реакция азот атмосферасында жүргізіп, мономерлер ОД және ДОДФ салынды. Барлық реагенттер аналитикалық таразыда өлшенеді. Инициатордың массасы ДОДФ және ОД жалпы массасының 2% құрайды, еріткіш ретінде 50% толуол қолданылды.

Алдымен өлшеніп алынған ДОДФ төрт мойынды колбаға магнитті араластырғыш және еріткішпен бірге салынып 70^oC-ға дейін қыздырылады. Температура 70^oC жеткеннен кейін, біртіндеп ОД салынып, содан соң инициатор қосылады. Инициатор ретінде бензойл асқын тотығын (БАТ) әр 10 минут сайын 1 бөлігін қосып осылайша 2 сағат процесс жүргізіледі. Реакцияның алғашқы 1 сағатынан кейін температураны 80^oC көтеріп, екінші сағатынан соң 90^oC көтеріледі. Осылайша полимеризация 90^oC температурада 8 сағат бойы құрғақ азоттың ағынымен жүреді. ДОДФ-ОД негізігдегі сополимердің алыну реакциясы төмендегі 1-суретте көрсетілген.



1-сурет. ДОДФ жәнеОД сополимерлену реакциясы

Сополимерлену реакциясы нәтижесінде ДОДФ-ОД негізіндегі 4 сополимер синтезделіп олардың мольдік арақатынасы: 1:0,5 (2% БАТ), 1:1 (2% БАТ), 1:1,5 (2% БАТ), 1:2 (2% БАТ) құрады.

Алынған, ақ түсті аморфты сополимерлерді реакция барысында сополимер құрамына түсуі мүмкін жанама өнімдерді және реакцияға түспеген заттарды кетіру үшін этил спиртін қолдану арқылы бірнеше қайталай жуып нәтижесінде жанама өнімдер тұнбаға түсіріледі. Содан соң ерітіндіні қалыпты күйге келтіру үшін, және ерітінді құрамындағы ұшқыш артық қосылыстардан айыру мақсатында вакуумды кептіру шкафында 50°С температурада тұрақты массаға дейін кептіріледі.

Таза мұнайдың және депрессорлық қосым қосылған мұнайдың ағын жоғалту температурасын анықтау бойынша зерттеулер LAUMA аппаратында жүргізілді.

Нәтижелер мен талқылау. Синтез нәтижесінде алынған ДОДФ-ОД негізіндегі сополимерледің реакция шығымы 1-кестеде көрсетілген.

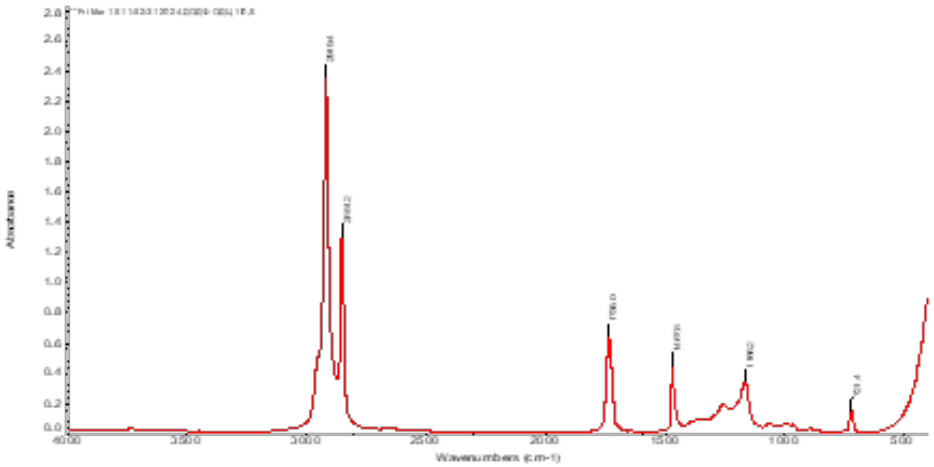
1-кесте. Алынған ДОДФ-ОД сополимерлерінің шығымы

Полимер (ДОДФ:ОДЦ)	Мольдік арақатынас (ДОДФ:ОД)	Шығымы, %
1	1:0,5	87,12
2	1:1	80,28
3	1:1,5	74,65
4	1:2	79,69

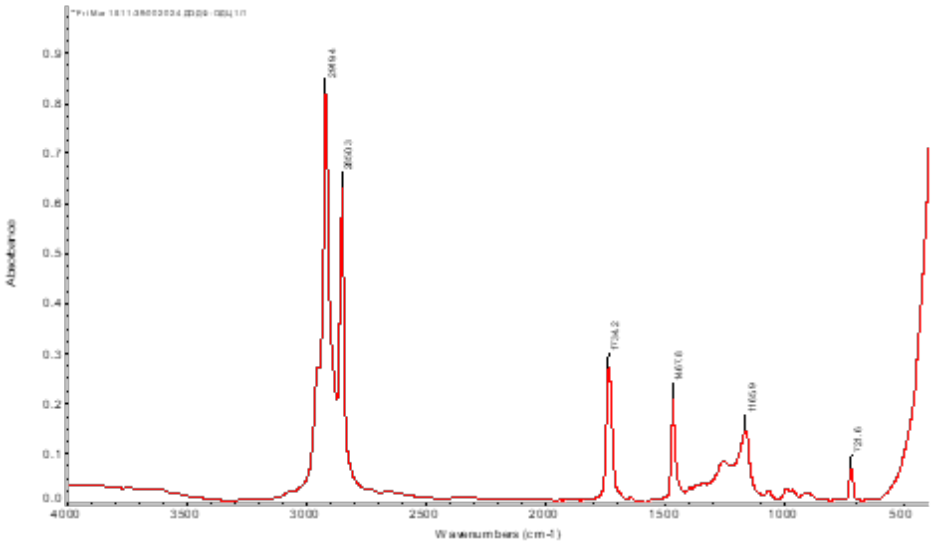
Сополимерлену реакциясы нәтижесінде ДОДФ-ОД негізіндегі 4 сополимер синтезделіп олардың мольдік арақатынасы: 1:0,5 (2% БАТ), 1:1 (2% БАТ), 1:1,5 (2% БАТ), 1:2 (2% БАТ) құрады және ОД-нің концентрациясының өзгеруіне байланысты реакциясы шығымыда өзгеріске ұшырады. Жалпы реакциясы шығымының ең төмен мәні 74,65%, ал ең жоғары мәні 87,12% құрады.

Синтезделген октадецен-1 және диоктадецилфумарат (ДОДФ-ОД) негізіндегі солполимерлер 1:0,5; 1:1; 1:1,5 және 1:2 қатынаста алынды, ИҚ-спектрлері түсірілді (2-5-суреттер).

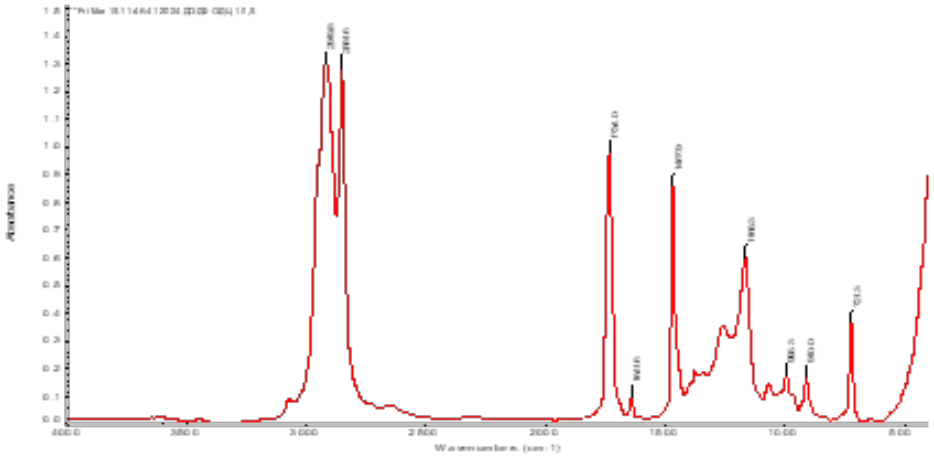
Сополимердің (1) ИҚ-спектрінде 2919,4 және 2851,2 $см^{-1}$ С-Н байланысының антисимметриялық және симметриялы созылу тербелістеріне тән сіңіру жолағы, 1735 $см^{-1}$ С=О байлансының созылу тербелістері, 1467,8 $см^{-1}$-CH_2 байланысының иілу тербелістері, 721,4 $см^{-1}$ сополимерлердің сіңіру жолағы, ол фрагменттерге тән сіңіру аймағына сәйкес келеді (- $CH_2)_n$, n≥4 кезінде, 1166,2 $см^{-1}$ фумараттың С-О- байланыстарының сіңірлу жолақтары бар.



2-сурет. ДОДФ-ОД сополимерінің(1) 1:0,5 қатынасындағы ИҚ-спектрі



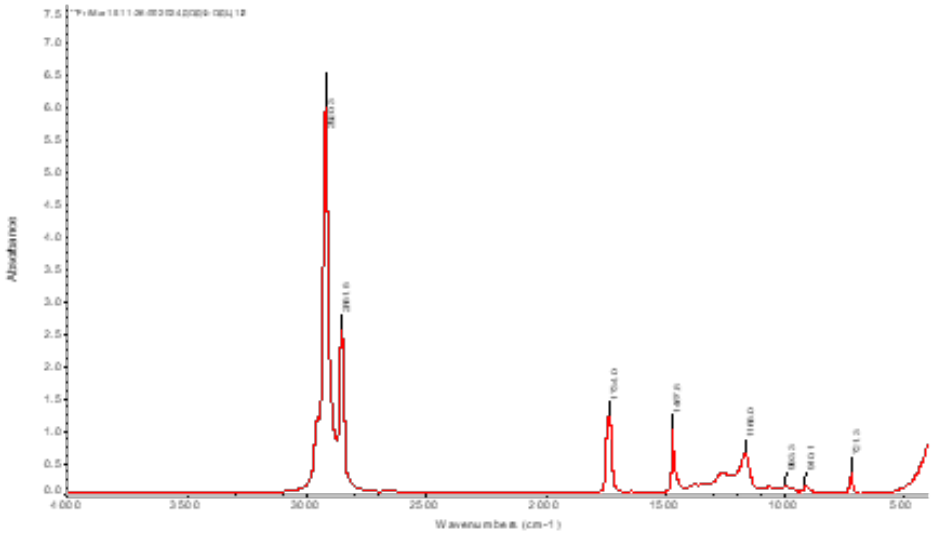
3-сурет. ДОДФ-ОД сополимерінің(2) 1:1 қатынасындағы ИҚ-спектрі



4-сурет. ДОДФ-ОД сополимерінің (3) 1:1,5 қатынасындағы ИҚ-спектрі

Қосылыстың (2) ИҚ-спектрінде 2919,4 және 2850,3 $см^{-1}$ облыстарында сәйкес С-Н антисимметриялық және симметриялы созылу тербелістеріне тән сіңіру жолағы бар.1734,2 $см^{-1}$ карбонил тобы (С=О) байланыстарына сәйкес келетін созылу тербелістері, сополимер құрамындағы $-CH_2$ иілу тербелістері 1467,8 $см^{-1}$, 721,4 $см^{-1}$ алкил фумараттарының да, сополимерлердің де сіңіру жолағы, ол фрагменттерге тән сіңіру аймағына сәйкес келеді $(-CH_2)_n$, n≥4 кезінде және 1165,9 $см^{-1}$ фумарат тізбектерінен құралған С-О- байланыстары бар.

Алынған сополимердің (3) ИҚ-спектрінде 2919,8 және 2851,6 $см^{-1}$ облыстарында сәйкес С-Н антисимметриялық және симметриялы созылу тербелістеріне тән сіңіру жолағы, 1734 $см^{-1}$ карбонил тобы (С=О) байланысының созылу тербелістері, 1641,6 $см^{-1}$ оқшауланған С=С қос байланыстары (реакцияға түспеген мономерлердің әлсіз тербелістері), 1467,8 $см^{-1}$ $-CH_2$ иілу тербелістері, 993,3 және 910 $см^{-1}$ фумарат тізбектерінің -С=С- байланысының созылу тербелістері (сополимерлену реакциясына түспеген немесе электрофильді оттегі әсерінен жылжыған терберлістер), 721,3 $см^{-1}$ алкил фумараттарының да, сополимерлердің де сіңіру жолағы бар.



5-сурет. ДОДФ-ОД сополимерінің (4) 1:2 қатынасындағы ИҚ-спектрі

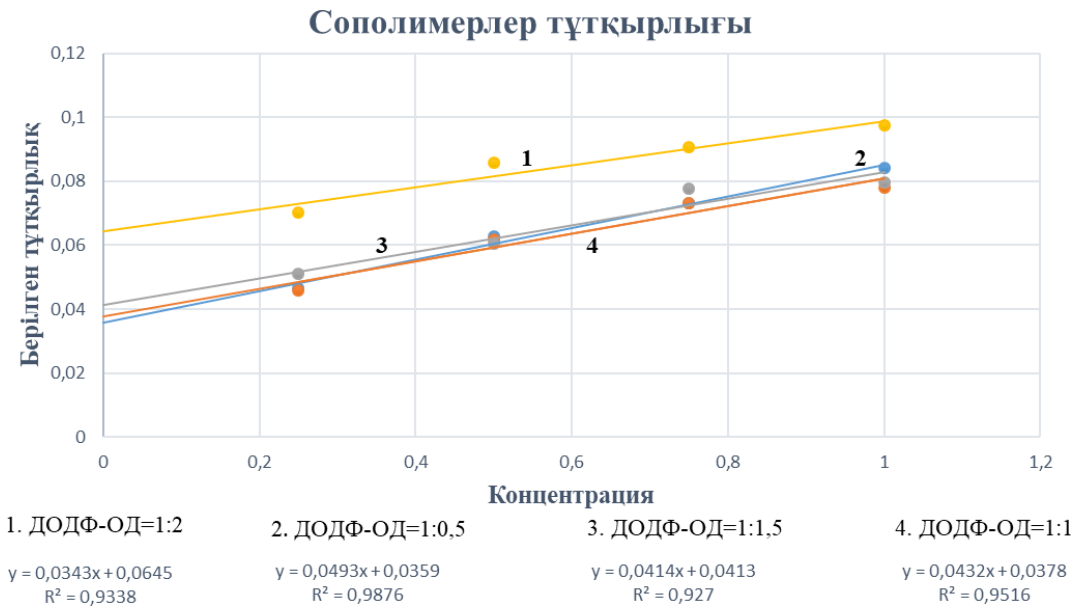
Қосылыстың (4) ИҚ-спектрінде 2920,3 және 2851,5 $см^{-1}$ облыстарында сәйкес С-Н антисимметриялық және симметриялы созылу тербелістеріне тән сіңіру жолағы бар.1734 $см^{-1}$ карбонил тобы (С=О) байланыстарына сәйкес келетін созылу тербелістері, 1467,8 $см^{-1}$ $-CH_2$ иілу тербелістері, 1165,9 $см^{-1}$ фумараттың С-О- байланыстары, 993,3 және 910 $см^{-1}$ фумарат тізбектерінің -С=С- байланысының созылу тербелістері (сополимерлену реакциясына түспеген немесе электрофильді оттегі әсерінен жылжыған терберлістер) және 721,3 $см^{-1}$ алкил фумараттарының да, сополимерлердің де сіңіру жолағы, ол фрагменттерге тән сіңіру аймағына $((-CH_2)_n$, n≥4 кезінде) сәйкес келеді.

Сипаттамалық тұтқырлықтың мәні [η] $\eta_{мен}/C$ осіне экстраполяция арқылы анықталды, графиктен (6-сурет) сополимерлердің тұтқырлығының өзгеруінің айқын тенденциясы байқалады: Октадецен-1 концентрациясының жоғарылауымен полимердің тұтқырлығы да артады. 6-Суретте тұтқырлықтың тәуелдік графигі көрсетілген.

Алынған сополимерлер тұтқырлығының графигі бойынша ОД концентрациясының жоғарылауына қарай сополимер тұтқырлығының мәні де жоғарылайтындығы анықталды.

ДОДФ-ОД негізіндегі сополимерлердің зерт-

теу нәтижесінде алынған сипаттамалық тұтқырлық мәндері мен реакция шығымын 2-кестеде берілген.



6-сурет. Берілген тұтқырлықтың әртүрлі молярлық қатынастардағы сополимерлердің концентрациясына тәуелділігі

2-кесте. ДОДФ-ОД сополимерлерінің сипаттамалық тұтқырлығы мен шығымы

Полимер (ДОДФ:ОДЦ)	Мольдік қатынас (ДОДФ:ОДЦ)	Шығым, %	Сипаттамалық тұтқырлық
1	1:0,5	87,12%	0,0359
2	1:1	80,28%	0,0378
3	1:1,5	74,65%	0,0413
4	1:2	79,69%	0,0645

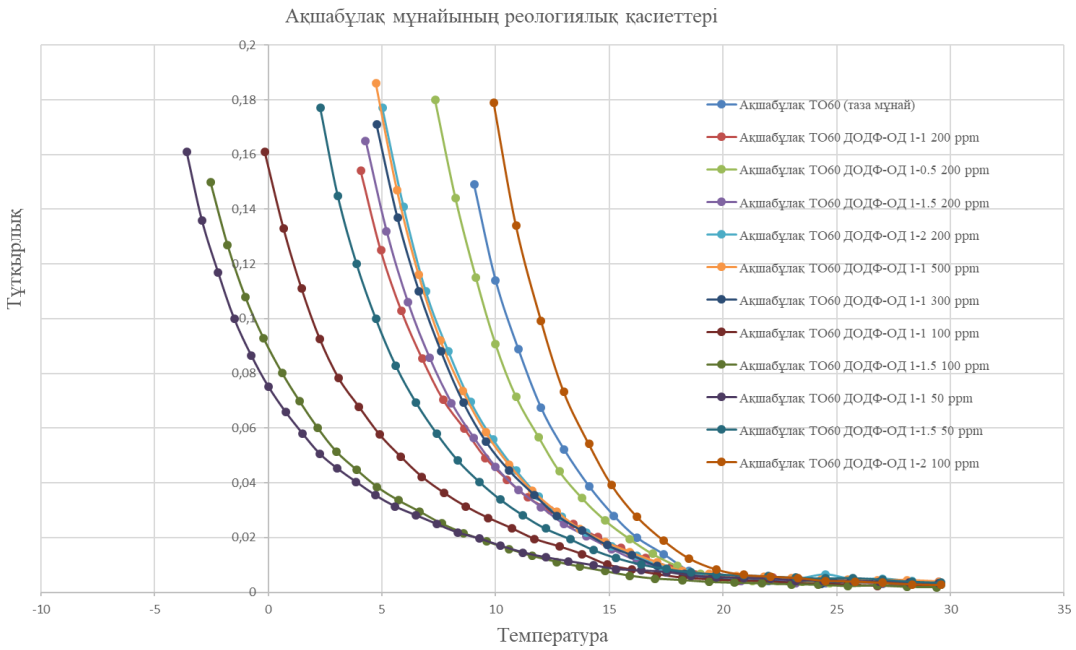
2-Кесте бойынша полимерлердің әртүрлі мольдік қатынас кезінде реакция шығымы мен сипаттамалық тұтқырлығының өзгеріс шамасы анықталды.

Мұнайдың реологиялық қасиеттерін анықтау кезінде ДОДФ пен ОД-нің әртүрлі арақатынастары зерттелді, атап айтқанда 1:0,5, 1:1, 1:1,5 және 1:2. Зерттеу барысында қоспаның әр түрлі концентрациясы қосылды, нақтырақ айтқанда 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm және 500ppm. Қоспаның концентрациясын өзгертудің мақсаты мұнайдың реологиялық қасиеттерін жақсарту үшін мұнай үшін ең жақсы полимерді табу болып табылады.

Төменде көрсетілген график бойынша мұнайдың депрессорлық қосымдармен мөлшерленуінің бірнеше нұсқалары зерттелгенін және барлық дерлік үлгілер біреуінен басқа реологиялық қасиеттері әлдеқайда жоғары, ең тиімсіз нұсқа ДОДФ-ОД 1:2 қатынасымен және 100 ppm концентрациясымен екендігін көрсетеді. Тұтқырлықты төмендетуге арналған ең тиімді қоспа ДОДФ-ОД 1:1 мольдік қатынаста және 50 ppm концентрация екендігі анықталды.

Демек ДОДФ-ОД негізіндегі алынған сополимерлер әр түрлі концентрация кезінде Ақшабұлақ мұнайы үшін әр түрлі реологиялық қасиет көрсететіндігі анықталды. Біздің жағдайымызда ДОДФ-ОД 1:1 мольдік қатынасы негізінде алынған сополимерлер үшін депрессорлық қосым концентрациясының төмендеуі кезінде, ол мұнайдың реологиялық қасиетін жақсарту деңгейі артатындығын көрсетеді. Демек, бұл қасиет депрессорлық қосымның төмен концентрациясы кезінде Ақшабұлақ мұнайының реологиялық қасиетін жақсартуда жоғары тиімділік көрсететіндігін айқындады. ДОДФ-ОД 1:1 негізіндегі сополимер 50 ppm концентрация кезінде ең тиімді өзгерісті көрсетіп, Ақшабұлақ мұнайы үшін жоғары тиімді депрессорлық қосым ретінде қолдануға болатындығы анықталды.

Ақшабұлақ мұнайына ДОДФ-ОД негізіндегі депрессорлық қосым қатысында жүргізілген зерттеу нәтижесі бойынша Ақшабұлақ мұнайының реологиялық қасиеттерінің өзгерісі 7-суретте көрсетілген.



7-сурет. Ақшабұлақ мұнайының термиялық өңделген кейінгі, таза мұнай және депрессорлық қоспа қосылған мұнайдың реологиялық қисығы

Әр түрлі концентрацияда алынған депрессорлық қосым негізіндегі мұнай 60^{o}C термиялық өңдеуден өтіп, депрессорлық қосым қосылмаған термостатталған мұнайдың реологиялық қасиеттерімен сипаттамалық сараптама ретінде қарастырылды.

Ақшабұлақ мұнайы 9^{o}C температурада қатып қалады, алайда депрессорлық қосымды қосқанда ағын жоғалту температурасы төмендейді. Зерттеу жұмысы мұнайдың реологиялық қасиетін жақсартуда соның ішінде тұтқырлықты төмендетуге арналған қосымдар ішіндегі ең тиімді болып табылған ДОДФ-ОД 1:1 мольдік қатынастағы және 50 ppm концентрацияда алынған депрессорлық қосымға жасалды. Нәтиже бойынша ДОДФ-ОД 1:1 мольдік қатынастағы және 50 ppm концентрацияда қосылған депрессорлық қосым оң нәтиже көрсетті. Ақшабұлақ мұнайы 0^{o}C температурада қатты күйге айналды. Ақшабұлақ мұнайына жүргізілген зерттеу бойынша мұнайдың ағым жоғалту температурасының таза мұнай мен депрессорлық қосым қосылған кездегі өзгерісі 3-кестеде берілген.

Зерттеулер LAUMA аппаратында жүргізілді, және зерттеу нәтижесі ДОДФ-ОД негізіндегі сополимердің Ақшабұлақ мұнайының ағын жоғалту температурасын анықтауда және оны төмендетуде тиімді қоспа екендігі дәлелденді.

3-кесте. Термиялық өңделген мұнайдың ағын жоғалту температурасы депрессорлық қоспамен және депрессорлық қоспасыз сипаттамасы

№	Термиялық өңделген таза мұнай және депрессорлық қоспалы мұнай	Қоспаның дозасы (ppm)	АЖТ (^oC)	(^oC)
1	Таза күйдегі Ақшабұлақ мұнайы	-	9	-
2	ДОДФ-ОД 1:1 депрессорлық қоспасымен	50	0	-3

3-Кесте сараптамасына сай алынған депрессорлық қосым мұнайдың ағын жоғалту температурасын төмендетені анықталды.

Қорытынды. Жұмыс нәтижесі бойынша ДОДФ-ОД негізіндегі сополимерлер синтезделді және Ақшабұлақ мұнайының қату температурасын төмендететін депрессорлық қоспа ретінде сыналды. ДОДФ-ОД 1:1 мольдік қатынастағы сополимерді алу реакциясының шығымы 80,28%-ды құрады, синтездің оптималды температурасы 90 құрады және 8 сағат жүргізілді.

Алынған ДОДФ-ОД негізіндегі сополимер құрылымындағы функциональды топтар ИҚ спектроскопия әдісімен зерттеліп, тұтқырлықты өлшеу әдісімен сополимерлердің берілген тұтқырлығы ОД-нің концентрациясының артуымен тұтқырлығының мәні жоғарылайтындығын көрсетті.

Сополимерлену нәтижесінде алынған сополимер қоспасыз Ақшабұлақ кен орыны мұнайының 5 кезінде тұтқырлығын 0,83411 Па·с-тен депрессорлық қоспа қатысында 0,13478 Па·с дейін төмендетті (6 есе), қоспасыз мұнайдың ағын жоғалту температурасын 9 -ден депрессорлық қоспа қатысында –(минус)3 дейін төмендетті, синтезделген сополимер нәтижесінің оң әсері дәлелденді, мұнайдың реологиялық қасиеттерін жақсарту үшін депрессорлық қоспа ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Сополимерлену нәтижесінде алынған сополимер Ақшабұлақ кен орыны мұнайының тұтқырлық шамасының жақсартуға мүмкіндік берді, және ағымдылығының жоғару температурасының тәжірибе жүзінде төмендетуін дәлелдеді.

Әдебиеттер

1. Hoffmann R., Amundsen L. Ifluence of wax inhibitor on fluid and deposit properties//Journal of Petroleum Science and Engineering. - 2013- Vol.107.- P.12-17. DOI 10.1016/j.petrol.2013.04.009.

2. Rama Venkatesan, Jeff Creek. Wax deposition and rheology: Progress and problems from an operator’ s view// Offshore Technology Conference, Houston, Texas, USA - 2010.- Vol.4.-P.3-6. DOI 10.4043/20668-MS.

3. Saniere A., Jean-François Argillie, I. Hénaut. Pipeline Transportation of Heavy Oils, a Strategic, Economic and Technological Challenge//Oil & Gas Science and Technology.- 2004, Vol.59(5). -P.455-466. DOI 10.2516/OGST:2004031.

4. Jang Y.H., Blanco M., Creek J., Tang Y., Goddard W.A., Wax Inhibition by comb-like polymers: support of the incorporation-perturbation mechanism from molecular dynamics simulations//J. Phys. Chem. – 2007.- Vol.111(46). -P.13173-13179. DOI 10.1021/jp072792q.

5. Yang F., Zhao Y., Sjoblom J., Li C., Paso K.G. Polymeric wax inhibitors and pour point depressants for waxy crude oils: A critical review// Journal of Dispersion Science and Technology. - 2015.-Vol. 36(2). -P.213-225. DOI 10.1080/01932691.2014.901917.

6. Hongying Li, Jinjun Zhang, Chaofan Song, Guangyu Sun. The influence of the heating temperature on the yield stress and pour point of waxy crude oils//Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2015.- Vol. 135. - P.476-483. DOI 10.1016/j.petrol.2015.10.010.

7. Machado ALC, Lucas E. F., Gonzalez G. Poly (ethylene-co-vinyl acetate) as wax inhibitor of a Brazilian crude oil: oil viscosity, pour point and phase behavior of organic solutions. // Journal of Petroleum Science and Engineering.-2001.-Vol.32.- P.159-165. DOI 10.1016/S0920-4105(01)00158-9.

8. Barasha Deka, Rohit Sharma, Arnab Mandal, Vikas Mahto. Synthesis and evaluation of oleic acid based polymeric additive as pour point depressant to improve flow properties of Indian waxy crude//Journal of Petroleum Science and Engineering. -2018.-Vol.170.-P.105-111. DOI 10.1016/j.petrol.2018.06.053

9. Baruah S.D., Sarmah D., Laskar N.C. Copolymers of bulky fumarate: synthesis and their properties//J. Polym. Res. - 2011.-Vol.18.- P.225-233. DOI 10.1007/s10965-010-9410-8

10. Aurel Radulescu, L.J. Fetters, D. Ritcher. Structural characterization of semicrystalline polymer morphologies by imaging-SANS//Journal of Physics: Conference Series. -2012.- Vol. 340(1). - P.6142-6151. DOI 10.1088/1742-6596/340/1/012089.

11. Laura V. Castro, Eugenio A. Flore, Flavio Vazquez, Terpolymers as Flow Improvers for Mexican Crude Oils //Energy Fuels. - 2011.- Vol. 25. -P.539–544. DOI 10.1021/ef101074m.

12. Prabha Modi, Mr. Parth Modi, Zarna Patel, Dr. Ashish Nagar. An overview of different pour point depressant synthesized and their behavior on different crude oils//International Journal of creative research thoughts. – 2020.-Vol8(8). -P.241-252.

13. Hong-Yun Peng, Yun-Song Yang, and Guo-Rong Qi. *n*-Dioctadecyl fumarate-vinyl acetate copolymer: Synthesis, characterization and application as flow improver for oils//Petroleum Science and Technology. -2007.- Vol.20(1-2). - P.65-75-13. DOI 10.1081/LFT-120002087.

14. A.M. Al-Sabagh, M.R. Noor El-Din, R.E. Morsi, M.Z. Elsabee. Styrene -maleic anhydride copolymer esters as flow improvers of waxy crude oil//J. Pet Sei Eng. - 2009.-Vol.65(3)-P.139-146. DOI 10.1016/j.petrol.2008.12.022

15. Hongying Li, Jinjun Zhang, Chaofan Song, Guangyu Sun. The influence of the heating temperature on the yield stress and pour point of waxy crude oils//Journal of Petroleum Science and Engineering. - 2015, Vol. 135. - P.476-483. DOI 10.1016/j.petrol.2015.10.010.

Авторлар туралы мәлімет

Тилегенов А.А.- магистрант, Сафи Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Қазақстан, e-mail: tlegenov.aisultan@bk.ru;

Әбілхайыров А.И.- химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Сафи Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Қазақстан, e-mail: a.abilkhayrov@mail.ru;

Шамбилова Г.Қ.- химия ғылымдарының докторы, профессор, Сафи Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті және Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан, e-mail: shambilova_gulba@mail.ru;

Қалауова А.С.- химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан, e-mail: altynay.kalauova@gmail.com;

Жунусова Э.Б.- техника ғылымдарының кандидаты, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті АҚ, Астана, Қазақстан, e-mail: tahmina.66@mail.ru.

Information about the authors

Tilegenov АюА.-master's student, Safi Utebayev Atyrau University of Oil and Gas, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: tlegenov.aisultan@bk.ru;

Abilkhairov A.I.- Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Safi Utebayev Atyrau oil and gas university, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: a.abilkhayrov@mail.ru;

Shambilova G. K.- Doctor of Chemical Sciences, Professor, Safi Utebayev Atyrau oil and gas university named after & Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: shambilova_gulba@mail.ru;

Kalauova A. S. - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau,

Kazakhstan, e-mail: altynay.kalauova@gmail.com;

Zhunussova E.B. - Candidate of Technical Sciences, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: tahmina.66@mail.ru,

МРНТИ 61.51.21 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1559**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОПИЛЕНА: ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕГИДРИРОВАНИЯ ПРОПАНА

[1]А.Н. Галим, [2]Э.Б. Жунусова, [2]Н.У. Нургалиев✉, [2]Х.Б. Омаров, [2]А.К. Жумабекова, [2]Ш.Ж. Усенкулова, [3]А.С. Калауова, [2]С.Ж. Калыхбергенова

[1]ТОО «Атырауский нефтеперерабатывающий завод», Атырау, Казахстан,
[2]Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
[3]Атырауский университет им. Х.Досмухамбетова, Атырау, Казахстан

✉ *Корреспондент-автор: nurgaliev_nao@mail.ru*

В последние годы все большую долю сырья в нефтехимической промышленности занимают попутные газы нефтяных месторождений. Попутный нефтяной газ является ценным сырьем для нефтехимии. Газовая отрасль Казахстана обладает значительным потенциалом для дальнейшего развития, что позволит в будущем вывести Казахстан в число ведущих региональных производителей природного газа. Месторождения Казахстана, на которых извлекается углеводородное сырье, характеризуются высоким содержанием попутного газа, составляющим более 60%, который идет при добыче вместе с нефтью [1].

В данной статье проведен анализ физико-химических характеристик нефти, а также плотности и компонентного состава попутного нефтяного газа месторождения Чинаревское (Западно-Казахстанская область) методом газо-адсорбционной хроматографии, с целью дальнейшего использования газа в качестве сырья для переработки пропана и получения пропилена. Предложено технологическое решение по вовлечению попутного нефтяного газа, полученного после сепарации нефти месторождения Чинаревское, в процесс дегидрирования пропана с использованием технологии UOP «Oleflex».

Проведены термодинамические расчеты установки с использованием программы Aspen HYSYS, в результате которых исследовано влияние температуры и давления на процесс конверсии и найдены оптимальные параметры переработки пропана. Для повышения выхода продукта термодинамические расчеты проведены при условии, что в составе исходной смеси вместе с пропаном был добавлен метан в качестве разбавителя. На основе расчетов изучено влияние температуры на конверсию пропана и селективность пропилена, с определением оптимальных условий проведения процесса дегидрирования пропана для получения пропилена.

Ключевые слова: нефть, попутный нефтяной газ, дегидрирование пропана, конверсия, селективность, пропилен

ПРОПИЛЕН АЛУ ҮШІН ІЛЕСПЕ МҰНАЙ ГАЗЫН ПАЙДАЛАНУ: ПРОПАННЫҢ ДЕГИДРЛЕНУІН ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

[1]А.Н. Галим, [2]Э.Б. Жунусова, [2]Н.У. Нургалиев✉, [2]Х.Б. Омаров, [2]А.К. Жумабекова, [2]Ш.Ж. Усенкулова, [3]А.С. Калауова, [2]С.Ж. Калыхбергенова

[1]«Атырау мұнай өңдеу зауыты» ЖШС, Атырау, Қазақстан,
[2]Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[3]Х. Досмухамбетов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан,
e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru

Соңғы жылдары мұнай-химия өнеркәсібіндегі шикізаттың үлесін мұнай кен орындарының ілеспе газдары алып отыр. Ілеспе мұнай газы мұнай химиясы үшін құнды шикізат болып табылады. Қазақстанның газ саласы одан әрі даму үшін айтарлықтай әлеуетке ие, бұл болашақта Қазақстанды табиғи газдың жетекші өңірлік өндірушілерінің қатарына қосуға мүмкіндік береді. Көмірсутек

шикізаты алынатын Қазақстанның кен орындары мұнаймен бірге өндіру кезінде жүретін ілеспе газдың 60%-дан асатын жоғары құрамымен сипатталады [1].

Бұл мақалада пропанды өңдеу және пропилен алу үшін шикізат ретінде одан әрі пайдалану мақсатында газ-адсорбциялық хроматография әдісімен Чинаревское кен орнының (Батыс Қазақстан облысы) ілеспе мұнай газының компоненттік құрамы мен тығыздығына, сонымен бірге мұнайдың физика-химиялық сипаттамаларына талдау жүргізілді. Чинаревское кен орнының мұнайын бөлгеннен кейін алынған ілеспе мұнай газын UOP ”Oleflex” технологиясын пайдалана отырып, пропанды дегидрлеу процесіне тарту бойынша технологиялық шешім ұсынылды.

Aspen HYSYS бағдарламасын қолдана отырып, қондырғының термодинамикалық есептеулері жүргізілді, нәтижесінде температура мен қысымның конверсия процесіне әсері зерттелді және пропанды өңдеудің оңтайлы параметрлері табылды. Өнімнің шығымдылығын арттыру үшін термодинамикалық есептеулер пропанмен бірге бастапқы қоспаның құрамына метан еріткіш ретінде қосылған жағдайда жүргізіледі. Есептеулер негізінде температураның пропан конверсиясына және пропиленнің селективтілігіне әсері зерттеліп, пропилен алу үшін пропанды дегидрлеу процесінің оңтайлы шарттары анықталды.

Түйінді сөздер: мұнай, ілеспе мұнай газы, пропанды дегидрлеу, конверсия, селективтілік, пропилен

UTILIZING ASSOCIATED PETROLEUM GAS TO PRODUCE PROPYLENE: THERMODYNAMIC MODELING OF PROPANE DEHYDROGENATION

[1]A.N. Galim, [2]E.B. Zhunussova, [2]N.U. Nurgaliev✉, [2]H.B. Omarov, [2]A.K. Zhumabekova, [2]Sh.Zh. Ussenkulova, [3]A.S. Kalauova A.S., [2]S.Zh. Kalyhbergenova

[1]Atyrau Oil Refinery LLP, Atyrau, Kazakhstan,
[2]Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhanov, Astana, Kazakhstan,
[3]Atyrau University named after. H. Dosmukhambetova, Atyrau, Kazakhstan,
e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru

In recent years, an increasing share of raw materials in the petrochemical industry has been occupied by associated gases from oil fields. Associated petroleum gas is a valuable raw material for petrochemistry. The gas industry of Kazakhstan has significant potential for further development, which will allow Kazakhstan to become one of the leading regional producers of natural gas in the future. The fields of Kazakhstan, where hydrocarbon raw materials are extracted, are characterized by a high content of associated gas, amounting to more than 60%, which occurs during production together with oil [1].

This article analyzes the physicochemical characteristics of oil, as well as the density and component composition of associated petroleum gas of the Chinarevskoye field (Western-Kazakhstan region) by gas adsorption chromatography, with the aim of further using the gas as a feedstock for propane processing and propylene production. A technological solution is proposed for involving associated petroleum gas obtained after oil separation at the Chinarevskoye field in the propane dehydrogenation process using UOP Oleflex technology.

Thermodynamic calculations of the unit were performed using the Aspen HYSYS program, as a result of which the effect of temperature and pressure on the conversion process was studied and optimal propane processing parameters were found. To increase the product yield, thermodynamic calculations were performed under the condition that methane was added to the initial mixture as a diluent along with propane. Based on the calculations, the effect of temperature on propane conversion and propylene selectivity was studied, with the determination of optimal conditions for the propane dehydrogenation process to obtain propylene.

Keywords: oil, associated petroleum gas, propane dehydrogenation, conversion, selectivity, propylene

Введение. Дегидрирование пропана приобретает все большее значение в производстве пропилена и водорода. Эти два продукта не только необходимы для химической промышленности, но и играют важную роль в мировой экономике. Пропилен является одним из основных сырьевых материалов для синтеза многих важных химических веществ, включая полипропилен, оксид пропилена, акрилонитрил, кумол и другие [2]. Поэтому производство пропилена является критически важным процессом в мировой нефтехимической промышленности, и примерно 66% мирового спроса приходится на производство полипропилена [3].

Поскольку глобальный спрос на пропилен превышает предложение, поиск более эффективных технологий производства становится все более актуальным [4].95% пропилена производится путем парового крекинга и жидкостного каталитического крекинга, которые также производят этилен. Однако более медленный рост спроса на этилен ограничивает предложение пропилена, в то время как переход от сланцевого газа к этану в паровом крекинге привел к снижению выхода пропилена. Эти проблемы подчеркивают необходимость независимых технологий производства пропилена [5,6].

Исходным ценным сырьем для дегидрированием пропана с целью получения пропилена служат попутные нефтяные газы (ПНГ). Переработка и утилизация последних является одной из важных экологических и экономических задач, в решении которых, особенно в последние годы, Казахстан добивается существенного прогресса. Традиционно значительная часть ПНГ при нефтедобыче либо направлялась на внутренние энергетические нужды, либо сжигалась в факелах, что приводит к потерям ценных углеводородов и увеличению выбросов парниковых газов. Однако за последние годы усилия государства, нефтегазовых компаний и международных инициатив привели к устойчивому повышению коэффициента утилизации газа и снижению объемов факельного сжигания.

Казахстан с 2015 года участвует в международной инициативе “Zero Routine Flaring by 2030”, поддерживаемой Всемирным банком, направленной на полное устранение рутинного сжигания ПНГ [7]. По оценкам Clean Air Task Force, за 2012-2023 годы объем факельного сжигания газа в Казахстане сократился с 3,96 млрд.м^3 до примерно 1,01 млрд.м^3, что отражает существенное улучшение управления ресурсами. Такая тенденция отражает рост внимания к рациональному использованию газа как ресурса и снижению выбросов парниковых газов [7].

Целью данного исследования является вовлечение нефтяного попутного газа, полученного из нефти месторождения Чинаревское (скважина № 23), в процесс дегидрирования пропана для получения пропилена (с использованием технологии UOP «Oleflex») с проведением термодинамических расчетов. В соответствии с данной технологией используют сферический полиметаллический алюмоплатиновый катализатор (Pt/Al_2O_3).

Материалы и методы. В качестве исходного сырья выбрана смесь попутных нефтяных газов месторождения Чинаревское (Западно-Казахстанская область).

Плотность газов определяли пикнометрическим методом в соответствии с ГОСТ 17310-2002 взвешиванием стеклянного пикнометра последовательно с осушенным воздухом и осушенным газом при одинаковой температуре и давлении. В результате анализа плотность газа составила 0,8949 кг/м^3.

В лабораторных условиях проведены исследования физико-химических свойств объединенной пробы дегазированной нефти (скважины №2 3) и попутного нефтяного газа, т.е. газа сепарации, полученного после сепарации нефти. Выполнены лабораторные испытания на нефть по главным показателям качества: определение содержания воды в нефти в соответствии с ГОСТ 2477-65; определение содержания хлористых солей титрованием водного экстракта в соответствии с ГОСТ 21534-76; плотность при 200°С и 150°С в соответствии с ГОСТ 3900-85; содержании серы в соответствии с ГОСТ 51947-2002; фракционный состав определяли на аппарате АРН-ЛАБ-03 в соответствии с ГОСТ 2177-99

(метод Б). Основные показатели качества нефти представлены в таблице 1.

Компонентный состав газа сепарации (скважины № 23), был определен методом газовой хроматографии в соответствии с ГОСТ 14920-79 на хроматографе Кристал-5000, оснащенном пламенно-ионизационным детектором. Принцип действия хроматографа основан на применении газо-адсорбционной хроматографии с использованием детектора по теплопроводности в изотермическом режиме и режиме линейного программирования температуры колонок. Компонентный состав газа определяли с использованием программного обеспечения Chromatec Analytic на двух насадочных колонках длиной 6 метров. Диаметр колонки-3 мм. В качестве газа-носителя используется гелий. Температура детектора-900°С. Объем пробы-0,5 $см^3$, расход газа-носителя-2,8 $дм^3$/ч. Результаты анализа компонентного состава газа сепарации представлены в таблице 2.

Таблица 1 - Основные физико-химические свойства проб нефти

Показатель	Результат
Содержание воды, %	0,03
Плотность, кг/м3 при 20 °С при 15 °С	 757,9 762,1
Содержание серы, % мас.	0,14
Содержание хлористых солей, мг/дм3	623,9
Фракционный состав н.к. 100 °С 170 °С 180 °С 200 °С 300 °С 350 °С	38 21,0% 41,5% 43,0% 52,5% 72,5% 79,5%

Таблица 2 - Компонентный состав попутного нефтяного газа

Компонент	Массовое содержание, %
H_2	0.01
He	0.06
N_2	0,62
CO_2	0,64
H_2S	0,08
CH_4	54,35
C_2H_6	15,96
C_3H_8	12,30
i-C_4H_{10}	1,55

n-C_4H_{10}	5,16
i-C_5H_{12}	2,37
n-C_5H_{12}	2,18

Анализ компонентного состава газа, выделившегося при сепарации нефти, показывает, что газ обогащен гомологами метана, то есть наблюдается преобладание метана (54.35%) и легких гомологов - этана (15.96%) и пропана (12.30%). Также присутствуют бутаны и пентаны, что свидетельствует о «жирном» составе газа, что характерно для попутного нефтяного газа. Содержание инертных и кислых компонентов (CO_2, He, N_2, H_2S) незначительно (менее 1.5%).

Результаты и обсуждение. *Описание блок-схемы газоперерабатывающего завода Чинаревское.* Существующая и предлагаемая блок-схема переработки нефти и попутного нефтяного газа приведена соответственно на рисунках 1 и 2. Выбор блок-схемы заключается в том, чтобы подобрать минимальное количество технологических установок (процессов), обеспечивающих производство пропилена и продуктов специального назначения заданного качества и ассортимента. В предлагаемой схеме промысловой переработки нефти и попутного нефтяного газа представлен вариант с полным набором технологических процессов, обеспечивающих наиболее глубокую степень переработки газа.

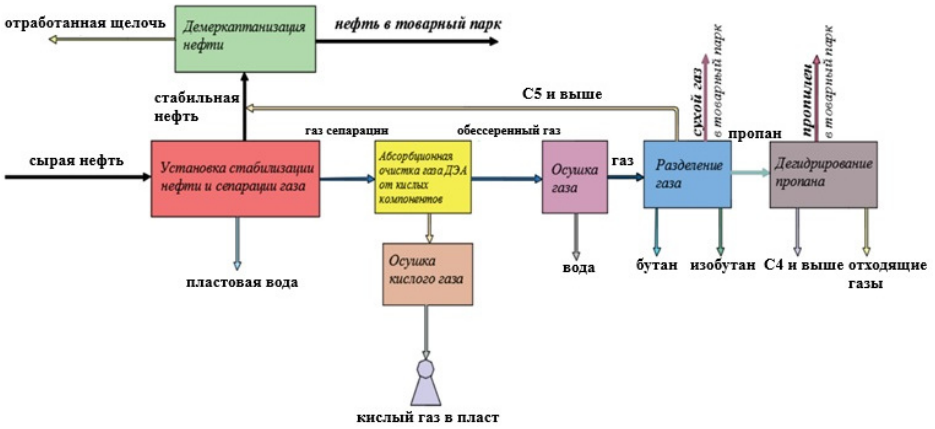


Рис.1 - Блок-схема переработки нефти и газа Чинаревского ГПЗ

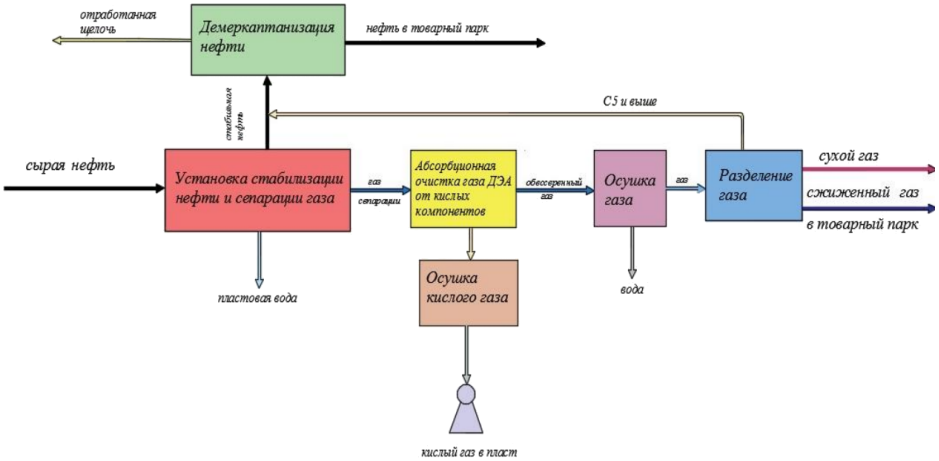


Рис.2 - Предлагаемая блок-схема переработки нефти и газа Чинаревского ГПЗ

Установка стабилизации нефти и сепарации газа (рис.1) состоит из трёхступенчатой сепарации нефти, газа и воды (соответственно 6,8; 2,5 и 0,65 МПа), обессоливания нефти, стабилизации нефти и компримирования газа. Сырая нефть после третьей ступени сепарации газа подаётся на электродегидраторы для обезвоживания и обессоливания и далее поступает в колонну стабилизации. Газ с установки сепарации в сепараторе низкого давления, и газ с колонны стабилизации объединяются и поступают на первую ступень компрессора. Далее газ объединяется с газом сепаратора с сепарации нефти и направляется на установку адсорбционной очистки газов. Газ высокого давления, выделившийся при сепарации, объединяется с потоком газа высокого давления после охлаждения со второй ступени компрессора и поступает на установку очистки газов от сероводорода (в контактор высокого давления). Факельная установка является системой безопасности. Сбросы разгрузочных и предохранительных клапанов собираются двумя отдельными коллекторами низкого давления и высокого давления. В них постоянно подаётся топливный газ для поддержания давления и предотвращения проникновения воздуха, ведущего к образованию взрывоопасных смесей. Сбросы с коллекторов факела собираются в отбойном сепараторе факела, где пары углеводородов отделяются от жидкостей. Пары углеводородов сжигаются на факеле, а жидкости стекают в систему закрытого дренажа углеводородов (ёмкость), а затем перекачиваются в резервуар для загрязнённой нефти. Стабильная нефть смешивается с углеводородами (C_{5+}) и подается на установку демеркаптанизации. Нефть направляется в товарный парк.

Установка абсорбционной очистки газов состоит из контакторов газа для извлечения из сырого газа сероводорода, углекислого газа и сероокиси углерода методом абсорбции диэтаноламином (ДЭА), установки регенерации аминового раствора и участка приготовления реагентов.

Очищенный газ поступает на установку осушки газа. Кислый газ из верха колонны (с высоким содержанием сероводорода) направляется на компримирование до 4 МПа, затем на установку осушки кислого газа. Далее газ сжимается до 10 МПа и закачивается в пласт. Регенерированный раствор ДЭА после предварительного охлаждения и частичной фильтрации вновь подаётся на абсорбционные колонны с помощью циркуляционных насосов ДЭА. Установка осушки газа предназначена для осушки и разделения газа, очищенного от сероводорода на установке абсорбционной очистки. В процессе разделения газа вырабатывается метановая, этановая, пропановая, изобутановая и бутановая фракции. Газ после осушки охлаждается с помощью хладагента пропана, значительная часть газа сжижается. Жидкость после отделения от газа в сепараторе подаётся в колонну деметанизации.

С сепаратора (рабочее давление 6,2 МПа) углеводороды разделяются на два потока–газовый и жидкостной, направляются в верхнюю часть колонны деметанизации с рабочим давлением 2,4 МПа. Метано-этановая смесь с большим содержанием метана, которая выходит с верхней части колонны, используется для охлаждения и частичной конденсации газового потока с установок осушки на сепаратор. Затем газ с верха колонны деметанизации поступает на компрессор для сжатия в систему сухого газа. Остаточный продукт колонны деметанизации, содержащий смесь метана с этаном, пропан и бутан, направляется в колонну деэтанизации. В колонне деэтанизации происходит разделение смеси на метан и этан в верхней части колонны, и на пропан и бутан в нижней части колонны. Продукт с верха колонны отводится в систему сухого газа, продукт нижней части колонны направляется на дальнейшее разделение на пропан и бутан в колоннах депропанизации и дебутанизации без примесей непредельных углеводородов.

Товарными продуктами установок являются следующие: осушенный товарный газ (метаново-этановые фракции); пропан; бутан; фракция C_{5+} (смешиваемая со стабилизированной нефтью).

Товарный сухой газ, в котором содержание сероводорода по существующим спецификациям не превышает 13 ppm, транспортируется по-

требителям в страны СНГ по магистральным трубопроводам (в соответствии с технологическим регламентом установок переработки нефти и подготовки газа газоперерабатывающего завода Чинаревское). По существующей схеме завода фракции бутана и пропана как сжиженный газ поставляются потребителю железнодорожным транспортом. Хранение сжиженных газов пропана и бутана осуществляется в товарном парке.

Описание технологической схемы установки «Oleflex». По технологии UOP «Oleflex» исходным сырьем для получения пропилена служит пропан из богатых пропаном потоков сжиженного нефтехимического газа с установок газоразделения. В связи с этим, в данной работе предлагается часть фракции с установки разделения подавать на установку дегидрирования пропана (рис.2) с целью получения пропилена в качестве исходного сырья для дальнейшего нефтехимического синтеза. Основной продукт дегидрирования пропана- пропилен (в дальнейшем предусмотрен как сырье полимеризации) и остаточные фракции газоразделения-изобутан-в дальнейшем используются в качестве сырья для нефтехимического синтеза. Дегидрирование пропана происходит в медленно движущемся слое сферического катализатора с подводом тепла исключительно за счет нагрева парогазового потока. В этом случае слой катализатора разделяется на несколько секций (реакторов) (рис.3). Установка «Oleflex» включает реакторный блок (2-4 реактора радиального типа, сырьевой и межступенчатые нагреватели), блоки разделения и фракционирования продуктов реакции и блок регенерации катализатора.

Реакторная секция. Углеводородное сырье смешивается с возвратным газом, обогащенным водородом. Комбинированное сырьё подогревается до температуры, требуемой на входе первого реактора, и с высокой избирательностью преобразуется в реакторах в моноолефины. Реакторная секция состоит из нескольких радиально-поточных реакторов, входного и промежуточных подогревателей, а также теплообменника сырья и продуктов реакторов. На схеме показана установка с четырьмя реакторами, что типично для установки, перерабатывающей пропановое сырье. Для дегидрирования бутана и изопентана, а также смесей C_3-C_4 и C_4-C_5 применяется схема с тремя реакторами. Так как реакция эндотермична, предусмотрены промежуточные подогреватели, обеспечивающие необходимую для реакции превращения теплоту. Продукт выходит из последнего реактора, отдает теплоту шихте и направляется в секцию извлечения продуктов.

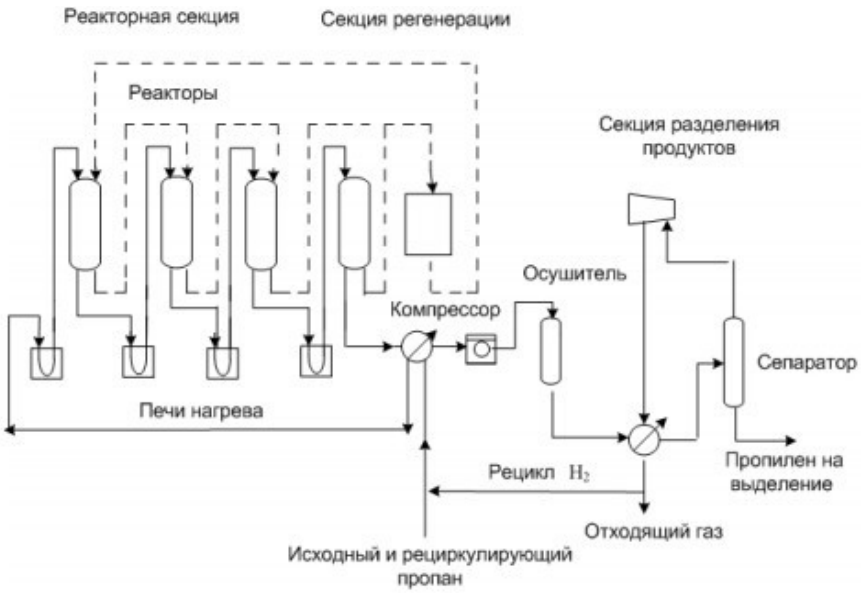


Рис.3 - Принципиальная схема установки

Секция извлечения продуктов. Продукт реактора охлаждается, компримируется, осушается и подается в систему криогенного разделения. Осушающие установки выполняют две задачи: 1) удаляют остаточную влагу, образовавшуюся при регенерации катализатора; 2) удаляют сероводород. Обработанный продукт частично конденсируется в системе разделения охлаждением и поступает в сепаратор. Из секции извлечения продуктов выходят два вида продуктов: сепараторный газ и сепараторная жидкость. Газ из холодного сепаратора высокого давления расширяется и делится на два потока: возвратного и чистого газа. Извлекаемый чистый газ содержит от 90 до 93% водорода. Примеси в товарном водороде состоят в основном из метана и этана. Сепараторная жидкость, состоящая в основном из олефина и непревращенного парафина, подвергается дальнейшей переработке.

Секция регенерации катализатора (рис.4). Данная секция аналогична секции регенерации катализатора установки CCR-платформинга, которая выполняет следующие задачи:

- выжигание кокса с поверхности катализатора;

- повторное диспергирование платины;

- удаление излишней влаги;

- восстановление активности катализатора перед возвратом его в реакторы.

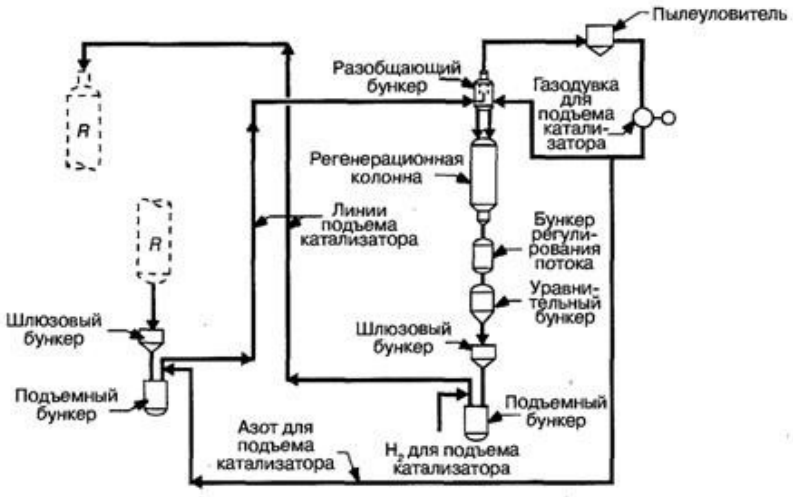


Рис.4 - Секция регенерации катализатора

Медленно движущийся катализатор циркулирует по контору, связывающему реакторы и регенератор. Период циркуляции по контуру можно регулировать в широких пределах (от 5 до 10 суток в зависимости от жесткости условий процесса «Oleflex» и необходимости регенерации). Работу секции регенерации можно временно приостановить, не прерывая процесс каталитического дегидрирования в реакторах и работу секции извлечения продуктов.

Термодинамический расчет установки. Данный расчет был проведен в программе Aspen HYSYS. В зависимости от изменения температуры, концентрации исходной смеси, времени реакции рассчитана степень превращения исходной смеси и селективность продукта-пропилена. Расчетная область температур составила в диапазоне 520-620°С, а давления-0,1; 1 и 5 атм., так как для реакции дегидрирования характерны высокие температуры и низкое давление. Наибольшая конверсия пропана достигается при температурах выше 600°С, однако при повышении температуры протекают реакции распада до C_1-C_2, что приводит к образованию кокса. В таблице 3 приведены результаты расчетов кинетики дегидрирования пропана, откуда видно, что при увеличении температуры и уменьшении дав-

ления конверсия пропана повышется. А наиболее оптимальными условиями проведения данного процесса являются следующие: температура -590°С, давление-0,1 атм. Как ранее указывалось, температуры выше 600°С не учитывались из-за высокого закоксовывания катализатора.

Таблица 3 - Влияние температуры и давления на конверсию пропана

Температура, °С	**Конверсия пропана, % при давлениях 0,1; 1 и 5 атм.**		
	0,1	1	5
520	61	32	14
540	64	38	18
560	71	49	24
580	78	56	28
590	84	68	34
610	88	71	38
620	91	76	42

Авторы в работе [8] исследовали процесс дегидрирования пропана и выяснили, что наилучший выход пропилена достигается путем разбавления исходного сырья (пропана) метаном, этаном или изобутаном. По исследованиям авторов данной работы эффективным разбавителем являются метан или этан. В связи с этим, для термодинамических расчетов в составе исходной смеси вместе с пропаном был взят разбавитель-метан, а объемная скорость газов для разбавленной смеси составила 800 $ч^{-1}$. Результаты термодинамических расчетов выхода пропилена при разбавлении исходного сырья метаном (в зависимости от температуры и давления) сведены в таблицу 4. По результатам расчетов наиболее оптимальными являются условия: температура - 590°С, соотношение смеси пропан/метан составило 72,9/27,1 (% мас.). Конверсия пропана за проход при этом составляет 65,0 % мас., селективность-90,1 % мас.

Таблица 4 - Влияние температуры на конверсию исходного сырья и селективность пропилена

Исходная смесь		**Селективность, % мас.**				**Конверсия за проход, % мас.**			
Пропан, %мас.	метан, %мас.	540°С	560°С	580°С	590°С	540°С	560°С	580°С	590°С
99,9	0	87,5	86,3	84,3	82,1	29,2	35,7	41,3	46,3
85,1	14,9	88,5	87,3	86,5	84,3	32,7	38,2	43,8	48,4
81,2	18,8	88,8	87,9	86,8	85,4	33,2	38,7	44,6	50,8
78,7	21,3	89,3	88,2	87,5	86,8	34,7	38,9	46,1	52,5
73,7	26,3	89,8	88,8	88,2	87,5	38,3	44,8	51,9	58,3
72,9	27,1	90,8	90,7	90,3	90,1	48,6	54,3	61,4	65,0
69,3	31,7	91,1	90,8	90,5	90,2	52,1	58,1	65,3	72,8

Зависимость конверсии пропана и селективности по пропилену от температуры при различных концентрациях разбавленной смеси представлены соответственно на рисунках 5 и 6. Из представленных результатов видно, что увеличение содержания метана в смеси способствует повышению как конверсии пропана, так и селективности по пропилену. Наблюдаемое повышение конверсии пропана в интервале 540-590 °С (рис.5) совпадает с результатами, полученными в работе [9], в которой для достижения достаточной степени конверсии пропана требуются высокие температуры (550-700 °С). Вместе с тем, повышение температуры приводит к несущественному снижению селективности по пропилену (рис.6), что может быть связано с тем, что высокие температуры могут способствовать различным побочным реакциям [10-13].

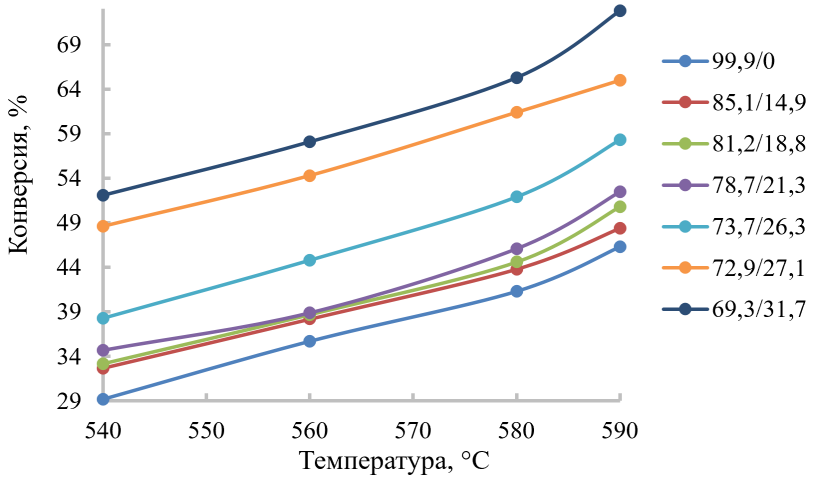


Рис.5 - Зависимость конверсии пропана от температуры при различных соотношениях исходной смеси (пропан/метан)

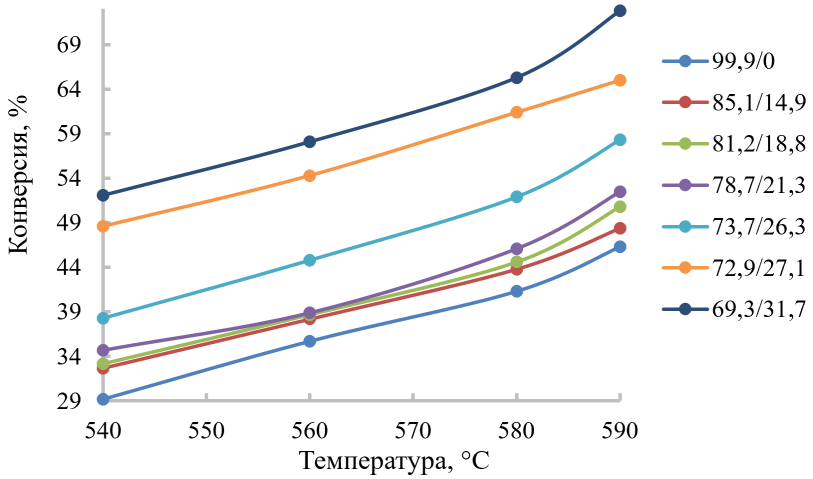


Рис.6 - Зависимость селективности по пропилену от температуры при различных соотношениях исходной смеси (пропан/метан)

В программе Aspen HYSYS проведено моделирование состава продуктов установки дегидрирования пропана, результаты которого сведены в таблицу 5. Как видно, содержание пропилена вполне удовлетворительно соответствует требованиям к промышленному пропилену, однако

незначительные отклонения от данных требований наблюдаются у таких компонентов, как ацетилены, кислород, сера, монооксид и диоксид углерода. Полученные результаты могут быть использованы в качестве основы для последующей оптимизации процесса и повышения качества конечного продукта.

Таблица 5 - Состав продуктов установки

Компонент	**Содержание фактическое**	**Требование к промышленному продукту**
Пропилен, % (мол.)	99,93	99,92
Пропан, % (мол.)	0,06	0,07
Водород, ppm	4,71	5
Этан, ppm	64,05	52
C_4, C_5 (насыщенные углеводороды), ppm	0,98	1
Этилен, ppm	0,83	1
Ацетилены, ppm	1,36	1
Кислород, ppm	1,47	1
Моноксид утлерода, ppm	0,12	0,1
Диоксид углерода, ppm	0,18	0,1
Общее содержание серы, ppm	0,035	<0,03
Метанол, ppm	0,90	1

Полученные в данной работе результаты согласуются с литературными данными по процессу дегидрирования пропана. Согласно данным [9], для достижения высокой степени превращения пропана в процессе прямого дегидрирования требуются температуры 550-700 °С, что соответствует установленному в данной работе оптимальному температурному диапазону 580-590 °С, в котором при температуре 590 °С достигнута конверсия пропана 65,0 % и селективность по пропилену 90,1 %. Как показано в [8], применение разбавителей в реакционной смеси способствует смещению равновесия дегидрирования в сторону образования олефинов и повышению выхода целевого продукта. Аналогичная закономерность установлена и в настоящей работе: увеличение содержания метана в исходной смеси приводит к росту как конверсии пропана, так и селективности по пропилену. Следует отметить, что для промышленных катализаторов дегидрирования пропана на основе Pt-Sn и Pt-In обычно достигается селективность по пропилену порядка 85-95 % в зависимости от температуры процесса и состава катализатора [9,12,13]. Полученное в настоящем исследовании значение селективности (90,1 %) находится в указанном диапазоне, что подтверждает корректность проведенного термодинамического моделирования и реалистичность выбранных технологических параметров. Таким образом, результаты моделирования хорошо согласуются с опубликованными литературными данными и подтверждают перспективность использования пропановой фракции попутного нефтяного газа месторождения Чинаревское для получения пропилена.

Выводы. В данной работе рассматривается возможность эффективного использования по-

путного нефтяного газа (полученного после сепарации нефти месторождения Чинаревское) в качестве сырья для получения пропилена путем дегидрирования пропана с использованием технологии UOP «Oleflex». Для расчета параметров процесса использовали программную среду Aspen HYSYS, в которой были смоделированы различные режимы дегидрирования пропана с варьированием температуры, давления и состава исходной смеси. Для повышения выхода продукта рассмотрен вариант добавления метана в качестве разбавителя. Проведенные термодинамические расчеты показали, что оптимальные условия процесса наблюдаются при температуре 590°C и содержании метана 27,1 % (в смеси с пропаном), при которых конверсия пропана составила 65,0 %, а селективность по пропилену-90,1 %. Результаты моделирования по составу продуктов установки показали возможность эффективной переработки попутного нефтяного газа с получением пропилена высокой чистоты, соответствующей требованиям к промышленному продукту. Таким образом, результаты проведенного исследования могут быть использованы в рамках последующей разработки и проектирования технологических схем переработки попутных нефтяных газов, с учетом специфики сырьевой базы нефтегазоносных казахстанских месторождений.

Литература

1. Тепло в каждый дом: как в Казахстане намерены увеличивать газификацию населенных пунктов [Элеткронный ресурс] 01.04.2024. URL: https://www.zakon.kz/stati/6429395-teplo-v-kazhdyy-dom-kak-v-kazakhstane-namereny-uvelichivat-gazifikatsiyu-naselennykh-punktov.html.-Дата обращения: 10.09.2025.

2. Yiwei Zhang, Yuming Zhou, Junjun Shi, Shijian Zhou, et.al. Comparative study of bimetallic Pt-Sn catalysts supported on different supports for propane dehydrogenation// Molecular Catalysis A: Chemical.-2014.-Vol.381.-P.138-147. DOI 10.1016/j.molcata.2013.10.007.

3. Sefiu Adekunle Bello, Maruf Yinka Kolawole. Recycled Plastics and Nanoparticles for Green Production of Nano Structural Materials.//Handbook of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and Environmental Applications.-2020. P.1-33.DOI 10.1007/978-3-030-11155-7_93-1.

4. Yang He, Yuanjun Song, David A. Cullen, Siris Laursen. Selective and Stable Non-Noble-Metal Intermetallic Compound Catalyst for the Direct Dehydrogenation of Propane to Propylene// American Chemical Society.-2018.- Vol.140(43).- P.14010-14014. DOI 10.1021/jacs.8b05060.

5. Yuewen Sun, Lihong Wei, Zhuang Zhang, Hongxiang Zhang, Yanlong Li. Coke Formation over Zeolite Catalysts in Light Alkanes Aromatization and Anti-Carbon-Deposition Strategies and Perspectives: A Review//Energy Fuels.- 2023. -Vol.37(3).- P.1657-1677. DOI 10.1021/acs.energyfuels.2c03479.

6. Nuodan Zhou, Wen Liu, Faheem Jan, ZhongKang Han, Bo Li. Efficient Screening of Metal Promoters of Pt Catalysts for C-H Bond Activation in Propane Dehydrogenation from a Combined First-Principles Calculations and Machine-Learning Study//ACS Omega.-2023.-Vol.8(26), P.23982-23990. DOI 10.1021/acsomega.3c02675.

7. Feldman L., Turitto J., Patel H. Kazakhstan's progress in reducing gas flaring is a model for the world [Electronic resource] 05.06.2025. URL:https://www.catf.us/2025/06/kazakhstans-progress-reducing-gas-flaring-model-world/. - Date of access: 12.10.2025.

8. Пахомов Н.А., Кашкин В.Н., Молчанов В.В., Носков А.С., Надточий В.И. Дегидрирование парафинов C_2-C_4 на Cr_2O_3/Al_2O_3 катализаторах//Газохимия.-2008.https://elibrary.ru/item.asp?id=13758362.

9. Zhong-Pan Hu, Dandan Yang, Zheng Wang, Zhong-Yong Yuan. State-of-the-art catalysts for direct

dehydrogenation of propane to propylene//Chinese Journal of Catalysis.-2019.-Vol.40(9).- P.1233-1254. DOI 10.1016/S1872-2067(19)63360-7.

10. Zhongchen Ma, Wentao Xu, Qige Wang, Qi Zhou, Jicheng Zhou. Highly effective microwave catalytic oxidative dehydrogenation of propane by CO_2 over V-La-doped dendritic mesoporous silica-based microwave catalysts//Chemical Engineering Journal.-2022.-Vol.435(2): 135081. DOI 10.1016/j.cej.2022.135081.

11. Ankit Agrawal, Omvir Singh, B. Moses Abraham,etet.al.al. Low-temperature selective production of propylene from non-oxidative dehydrogenation of propane over unconventional Zr/ZK-5 catalysts//Fuel Processing Technology.-2022.-Vol.235:107362. DOI 10.1016/j.fuproc.2022.107362.

12. Tananya Srisakwattana, Suthasinee Watmanee, Sippakorn Wannakao, et.al.Comparative incorporation of Sn and In in Mg(Al)O for the enhanced stability of Pt/MgAl(X)O catalysts in propane dehydrogenation.//Applied Catalysis A: General.-2021.-Vol.615: 118053. DOI 10.1016/j.apcata.2021.118053.

13. Ke Xia, Wan-Zhong Lang, Pei-Pei Li, Liu-Liu Long, Xi Yan, Ya-Jun Guo. The influences of Mg/Al molar ratio on the properties of PtIn/Mg(Al)O-*x* catalysts for propane dehydrogenation reaction//Chemical Engineering Journal.-2016.-Vol.284.-P.1068-1079.DOI 10.1016/j.cej.2015.09.046.

References

1. Teplo v kazhdyj dom: kak v Kazahstane namereny uvelichivat’ gazifikaciju naselennyh punktov [Jeletkronnyj resurs] 01.04.2024. URL: https://www.zakon.kz/stati/6429395-teplo-v-kazhdyy-dom-kak-v-kazakhstane-namereny-uvelichivat-gazifikatsiyu-naselennykh-punktov.html.-Data obrashhenija: 10.09.2025. [in Russian]

2. Yiwei Zhang, Yuming Zhou, Junjun Shi, Shijian Zhou, et.al. Comparative study of bimetallic Pt-Sn catalysts supported on different supports for propane dehydrogenation// Molecular Catalysis A: Chemical.-2014.-Vol.381.-P.138-147. DOI 10.1016/j.molcata.2013.10.007.

3. Sefiu Adekunle Bello, Maruf Yinka Kolawole. Recycled Plastics and Nanoparticles for Green Production of Nano Structural Materials.//Handbook of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and Environmental Applications.-2020. P.1-33.DOI 10.1007/978-3-030-11155-7_93-1.

4. Yang He, Yuanjun Song, David A. Cullen, Siris Laursen. Selective and Stable Non-Noble-Metal Intermetallic Compound Catalyst for the Direct Dehydrogenation of Propane to Propylene// American Chemical Society.-2018.- Vol.140(43).- P.14010-14014. DOI 10.1021/jacs.8b05060.

5. Yuewen Sun, Lihong Wei, Zhuang Zhang, Hongxiang Zhang, Yanlong Li. Coke Formation over Zeolite Catalysts in Light Alkanes Aromatization and Anti-Carbon-Deposition Strategies and Perspectives: A Review//Energy Fuels.- 2023. -Vol.37(3).- P.1657-1677. DOI 10.1021/acs.energyfuels.2c03479.

6. Nuodan Zhou, Wen Liu, Faheem Jan, ZhongKang Han, Bo Li. Efficient Screening of Metal Promoters of Pt Catalysts for C-H Bond Activation in Propane Dehydrogenation from a Combined First-Principles Calculations and Machine-Learning Study//ACS Omega.-2023.-Vol.8(26), P.23982-23990. DOI 10.1021/acsomega.3c02675.

7. Feldman L., Turitto J., Patel H. Kazakhstan's progress in reducing gas flaring is a model for the world [Electronic resource] 05.06.2025. URL:https://www.catf.us/2025/06/kazakhstans-progress-reducing-gas-flaring-model-world/. - Date of access: 12.10.2025.

8. Pahomov N.A., Kashkin V.N., Molchanov V.V., Noskov A.S., Nadtochij V.I. Degidrirovanie parafinov S2-S4 na Cr2O3/Al2O3 katalizatorah//Gazohimija.-2008.https://elibrary.ru/item.asp?id=13758362. [in Russian]

9. Zhong-Pan Hu, Dandan Yang, Zheng Wang, Zhong-Yong Yuan. State-of-the-art catalysts for direct dehydrogenation of propane to propylene//Chinese Journal of Catalysis.-2019.-Vol.40(9).- P.1233-1254. DOI 10.1016/S1872-2067(19)63360-7.

10. Zhongchen Ma, Wentao Xu, Qige Wang, Qi Zhou, Jicheng Zhou. Highly effective microwave catalytic oxidative dehydrogenation of propane by CO_2 over V-La-doped dendritic mesoporous silica-based microwave catalysts//Chemical Engineering Journal.-2022.-Vol.435(2): 135081. DOI 10.1016/j.cej.2022.135081.

11. Ankit Agrawal, Omvir Singh, B. Moses Abraham,etet.al.al. Low-temperature selective production of propylene from non-oxidative dehydrogenation of propane over unconventional Zr/ZK-5 catalysts//Fuel Processing Technology.-2022.-Vol.235:107362. DOI 10.1016/j.fuproc.2022.107362.

12. Tananya Srisakwattana, Suthasinee Watmanee, Sippakorn Wannakao, et.al.Comparative incorporation of Sn and In in Mg(Al)O for the enhanced stability of Pt/MgAl(X)O catalysts in propane dehydrogenation.//Applied Catalysis A: General.-2021.-Vol.615: 118053. DOI 10.1016/j.apcata.2021.118053.

13. Ke Xia, Wan-Zhong Lang, Pei-Pei Li, Liu-Liu Long, Xi Yan, Ya-Jun Guo. The influences of Mg/Al molar ratio on the properties of PtIn/Mg(Al)O-*x* catalysts for propane dehydrogenation reaction//Chemical Engineering Journal.-2016.-Vol.284.-P.1068-1079.DOI 10.1016/j.cej.2015.09.046.

Сведения об авторах

Галим А.Н. - заместитель начальника отдела оптимизационного планирования, ТОО «Атырауский нефтеперерабатывающий завод», Атырау, Казахстан, e-mail: azizagalim@gmail.com;

Жунусова Э.Б. - кандидат технических наук, ассистент профессора, Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: tahmina.66@mail.ru;

Нургалиев Н.У.- кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Казахский университет технологии и бизнеса имени К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru;

Омаров Х.Б.- доктор технических наук, профессор, Казахский университет технологии и бизнеса имени К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: homarov1963@mail.ru;

Жумабекова А.К.- кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: zhumabekova_ak@mail.ru;

Усенкулова Ш.Ж.- доктор PhD, ассистент профессора, Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: sholpan1990@mail.ru;

Калауова А.С.- кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Атырауский университет им. Х. Досмухамбетова, Атырау, Казахстан, e-mail: skalauova@mail.ru;

Калыхбергенова С.Ж.- старший преподаватель, Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: kalyhbergenova.s@mail.ru.

Information about the authors

Galim A.N. - Deputy Head of the Optimization Planning Department, «Atyrau Oil Refinery» LLP, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: azizagalim@gmail.com;

Zhunussova E.B.- Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: tahmina.66@mail.ru;

Nurgaliyev N.U.- Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana,, Kazakhstan, e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru;

Omarov Kh. B. - Doctor of Technical Sciences, Professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: homarov1963@mail.ru;

Zhumabekova A. K. - Candidate of Chemical sciences, Associate Professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: zhumabekova_ak@mail.ru;

Ussenkulova Sh. Zh. - Doctor of PhD, Assistant Professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business,

Astana, Kazakhstan, e-mail: sholpan1990@mail.ru;

Kalauova A.S. - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: skalauova@mail.ru;

Kalykhbergenova S.Zh. - Senior lecturer, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: kalyhbergenova.s@mail.ru.

МРНТИ 61.59.37 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1563**

RESEARCH OF TEXTILE MATERIALS WITH SPECIAL PROPERTIES

[1]M.B. Baimakhanova✉, [1]I.M. Jurinskaya, [2]T. Onggar
[1]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan,
[2]Technical University of Dresden, Dresden, Germany

✉ *Correspondent-author: moldir.baymakhanova@mail.ru*

Due to increasingly stringent safety standards for textile materials, a pressing need has arisen to impart multifunctional properties to fabrics, particularly flame resistance and antimicrobial activity. The aim of this study is to develop a hybrid coating based on copper, phosphorus, and silicon (Cu-P-Si) for the functionalization of cotton and linen fabrics.

The coating was deposited using a two-step method consistent with the principles of “green chemistry.”

Scanning electron microscopy (SEM) results confirmed the formation of a uniform coating with the inorganic phase fixed on the fibers. It was found that the treatment reduces the charring length of the fabric compared to the untreated sample. Antibacterial tests were conducted using gram-positive Staphylococcus aureus and gram-negative Escherichia coli bacteria, which demonstrated complete inhibition of bacterial growth with an efficacy of >99.9%. It was found that the coating increases the tensile strength of the modified samples by 16%, which may be attributed to the fiber-structuring effect.

A toxicological safety assessment confirmed that the samples meet the established requirements. The developed Cu-P-Si hybrid coating provides cellulose-based textile materials with a combination of flame-retardant and antimicrobial properties. Thus, the developed technology for finishing cellulose-based textile materials confirms its potential for creating protective clothing and products, as well as for use in public interiors and educational institutions.

Keywords: modification, hybrid coatings, flame retardants, antimicrobial activity, copper sulfate, toxicological safety, tetraethoxysilane

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ

[1]М.Б. Баймаханова✉, [1]И.М. Джуринская, [2]Т. Онгар
[1]Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан,
[2]Дрезденский технический университет, Дрезден, Германия,
e-mail: moldir.baymakhanova@mail.ru

В связи с повышением стандартов к безопасности текстильных материалов актуальной задачей является придание тканям многофункциональных свойств, в частности, огнестойкости и антимикробной активности.

Целью работы является разработка гибридного покрытия на основе меди, фосфора и кремния (Cu-P-Si) для функционализации хлопковых и льняных тканей.

Осаждение покрытия проводили двухэтапным методом, соответствующим принципам «зеленой химии».

Результаты сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) подтвердили формирование равномерного покрытия с фиксацией неорганической фазы на волокнах. Установлено, что обработка позволяет снизить длину обугливания ткани по сравнению с необработанным образцом. Антибактериальные тесты оценивались бактериями грамположительными Staphylococcus aureus и грамотрицательными Escherichia coli бактериями, которые продемонстрировали полное подавление роста бактерий с эффективностью на >99.9%. Выявлено, что покрытие приводит к повышению прочности при растяжении модифицированных образцов на 16 %, что может быть связано с эффектом структурирования волокон.

Оценка токсикологической безопасности подтвердила соответствие образцов установленным требованиям. Разработанное гибридное покрытие Cu-P-Si обеспечивает целлюлозным текстильным материалам комплекс огнезащитных и антимикробных свойств. Таким образом, разработанная технология отделки текстильного материала на основе целлюлозы подтверждают потенциальность для создания защитной одежды, изделий и использования в общественных интерьерах, образовательных учреждения.

Ключевые слова: модификация, гибридные покрытия, антипирены, антимикробная активность, сульфат меди, токсикологическая безопасность, тетраэтоксисилан.

АРНАЙЫ ҚАСИЕТТЕРІ БАР ТОҚЫМА МАТЕРИАЛДАРЫН ЗЕРТТЕУ

[1]М.Б. Баймаханова✉, [1]И.М. Джуринская, [2]Т. Оңғар

[1]Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]Дрезден техникалық университеті, Дрезден, Германия,
e-mail: moldir.baymakhanova@mail.ru

Тоқыма материалдарының қауіпсіздігі стандарттарының жоғарылауына байланысты маталарға көпфункционалды қасиеттер, атап айтқанда отқа төзімділік пен микробқа қарсы белсенділік беру өзекті міндет болып табылады. Жұмыстың мақсаты мақта мен зығыр маталарды функционалдандыру үшін мыс, фосфор және кремний (Cu-P-Si) негізіндегі гибридті жабынды әзірлеу болып табылады.

Жабынды тұндыру «жасыл химия» қағидаттарына сәйкес екі сатылы әдіспен жүргізілді. Сканерлеуші электронды микроскопияның (SEM) нәтижелері бойынша талшықтарға бейорганикалық фазаны бекітумен біркелкі жабынның қалыптастыру растады. Өңделген үлгінің өңделмеген үлгіге қарағанда матаның күйдіру ұзындығын азайтуға мүмкіндік беретіні анықталды. Бактерияға қарсы сынақтарды грам-позитивті Staphylococcus aureus бактериялары және грам-теріс Escherichia coli бактериялары бағалады, олар бактериялардың өсуінің толық тежелуін >99.9% тиімділікпен көрсетті.

Жабын өзгертілген үлгілердің созылу беріктігінің 16% - ға артуына әкелетіні анықталды, бұл талшықты құрылымдау әсеріне байланысты болуы мүмкін. Токсикологиялық қауіпсіздікті бағалау үлгілердің белгіленген талаптарға сәйкестігін растады. Cu-P-Si гибридті жабыны целлюлозалық тоқыма материалдарын отқа төзімді және микробқа қарсы қасиеттер кешенімен қамтамасыз етеді. Осылайша, целлюлоза негізіндегі тоқыма материалын әрлеу технологиясы қорғаныш киімдерін, бұйымдарды және қоғамдық интерьерлерде, білім беру мекемелерінде қолдануға әлеуетті екенін дәлелдейді.

Түйін сөздер: модификациялау, гибридті жабындар, отқа төзімді қоспалар, антимикробтық белсенділік, мыс сульфаты, токсикологиялық қауіпсіздік, тетраэтоксисилан

Introduction. In recent years, there has been a marked trend toward the development of multifunctional textiles, driven by the practical expectations of consumers seeking versatile products. One of the key areas of research is the functionalization of textile surfaces to impart antibacterial and flame-retardant properties, which is particularly important in the creation of protective technical fabrics. Cotton is one of the most commonly used and widely available natural fibers, and it possesses numerous surface hydroxyl groups, making it a suitable candidate for modification [1].

Today, the development of effective, durable, and stable methods for functionalizing textile materials is a pressing issue and is of significant scientific interest. In this regard, a number of research groups have proposed approaches to modifying various fabrics, particularly cotton, aimed at imparting antimicrobial and flame-retardant properties [1 - 6]. Various methods of applying protective coatings

were used in these studies. However, these methods did not ensure the preservation of strength; in fact, a decrease was observed. Furthermore, they proved to be technologically complex and costly. It is also important to note that the problem of low resistance to repeated washing and high environmental toxicity remains unresolved. Thus, a pressing task is the search for flame retardants that are less harmful to the environment.

However, despite its widespread use, cotton has certain drawbacks, such as insufficient fire-retardant and antimicrobial properties. In particular, its high flammability poses a serious fire safety concern. Cotton burn easily, releasing a large amount of heat, flame and smoke in association with the generation of a large amount of droplets during the burning process, thereby threatening people's lives and property. Thus improvements in the flame retardant properties of polymers are urgently needed. [7].

Flame-retardant compounds are classified as inorganic or organic. Inorganic flame retardants consist primarily of compounds of phosphorus, boron, zinc, iron, and carbon. Organic flame retardants, in turn, include halogen-containing, organophosphorus, nitrogen-containing, and organosilicon compounds [8,9].

In addition to being highly flammable, cellulose-based fabrics are susceptible to microbial growth, which can lead to unpleasant odors, changes in appearance, and a reduction in material strength, posing a potential threat to human health. In this regard, the development of antimicrobial modifications for textile materials takes on significant practical importance.

Against the backdrop of increasing microbial resistance to traditional antibiotics, alternative antimicrobial solutions-particularly those based on metal nanoparticles-are becoming increasingly relevant. Copper and copper oxide nanoparticles exhibit a broad spectrum of antimicrobial activity and are capable of enhancing or complementing the effects of traditional antimicrobial agents [10,11].

At the same time, modern research in this field is increasingly based on the principles of "green chemistry," which focus on developing environmentally safe and resource-efficient methods for synthesizing functional nanomaterials [12]. The application of "green" approaches in organic chemistry laboratory practice allows for minimizing the use of toxic reagents, reducing energy consumption, and mitigating negative environmental impacts, which is particularly important when scaling up textile processing technologies.

The aim of this study is to develop safe textile materials with flame-retardant and antimicrobial properties. The scientific novelty of this work lies in the proposal of hybrid coatings based on copper, phosphorus, and silicon (Cu-P-Si), which synergistically impart the desired properties, contain no halogen-based compounds, and meet environmental and toxicological safety requirements.

Materials and methods. The aim of this study was to develop and evaluate the safety of textile materials with multifunctional properties, specifically flame-retardant and antimicrobial. Cotton fabric (100%, 180 g/m²) and linen fabric (100%, 190 g/m²) sized 20 × 20 cm were used as substrates. Cellulose-based textiles are widely applied in light and medical industries due to their hygienic and mechanical properties, but they are prone to microbiological degradation.

For modification, copper sulfate ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), ascorbic acid, Tetraethoxysilane (TEOS, 98.5%), Hexamethylenediamine (HMDA), Sodium dihydrogen phosphate (NaH_2PO_4) and glucose of analytical grade were obtained from LaborPharma LLP and ALTEY Group (Republic of Kazakhstan). Copper nanoparticles were synthesized via a green chemistry approach at 50 °C, with ascorbic acid as the reducing agent and glucose as the stabilizer. Prior to treatment, textile samples were washed and dried.

Multifunctional properties were imparted through a two-step process: antimicrobial treatment by deposition of copper compounds, followed by flame-retardant treatment through the formation of a phosphorus-silicon network.

Step 1 - Antimicrobial modification: Fabrics were treated in an aqueous bath containing $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ (1.5 g), ascorbic acid (1.06 g), glucose (1.08 g), and NaOH (pH ≈ 9). The process was carried out at 60-70 °C for 30 min, followed by padding, drying (80-100 °C, 3 min), and thermal fixation (120 °C, 2 min).

Step 2 - Flame-retardant modification: Fabrics were impregnated with TEOS (5 g) in a water-ethanol mixture (4:1), with NaH_2PO_4 (1.56 g) and HMDA (0.58 g) as additives. After padding, samples were dried (90-100 °C, 3 min) and thermally treated (120-130 °C, 2 min). Final rinsing and air-drying ensured coating stability. Experimental samples are presented in Table 1.

Table 1 - Experimental samples

№	Fiber	Treatment scheme	Sample code
1	Cotton	-	CR
2	Flax	-	FR
3	Cotton	Cu → TEOS → FR	C-2
4	Flax	Cu → TEOS → FR	F-2

This sequence generated uniform Cu-P-Si coatings that offer antimicrobial properties along with flame-retardant performance.

The surface morphology of samples was analyzed using SEM (GeminiSEM 300, ZEISS, Germany).

Flame-retardant properties were evaluated according to GOST 11209-2014 by measuring afterflame, afterglow, and char length (30x20 cm samples). Compliance was confirmed when no afterflame/afterglow occurred and char length ≤10 cm [12].

Antibacterial activity was tested following ISO 20645:2015 and ASTM E2149:2013 using Staphylococcus aureus (ATCC 6538) and Escherichia coli (ATCC 25922) at 37 ± 1 °C. Growth inhibition zones were assessed after 24 h incubation [13 - 14].

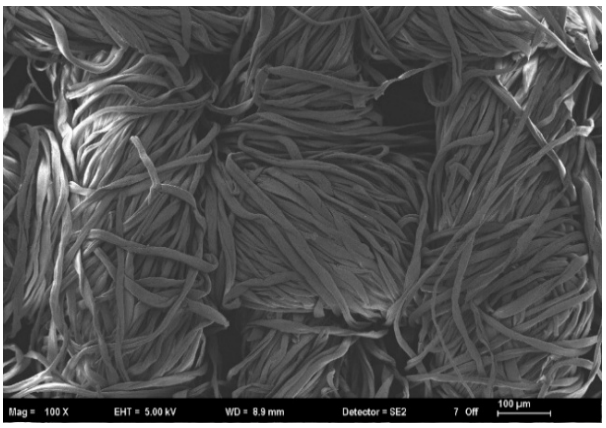
Tensile strength was determined according to ISO 13934-1:2013 using RT-250M-2 at 250 mm/min [15].

Toxicological safety was assessed under GOST 32075-2013; results confirmed compliance with regulatory values [16].

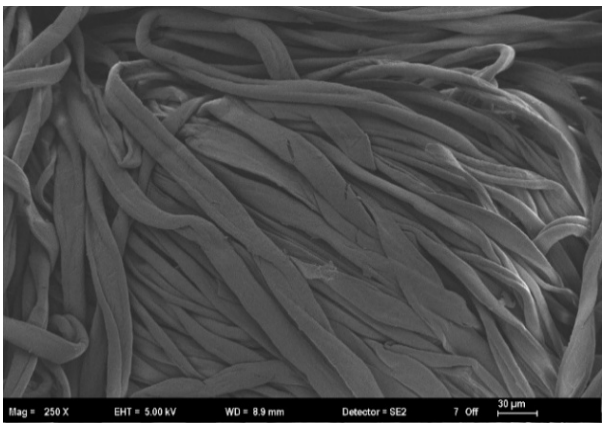
Results and discussion. The surface morphology of untreated and modified cotton and flax fabrics was investigated using SEM (Figures 1 and 2). Micrographs obtained at identical magnifications (Figures 1 and 2 (a, b)) of 100x and 250x allowed a direct comparison of different substrates and treatment methods. Raw cotton (CR) has a ribbon-like structure, whereas linen fabric (FR) has a more linear and ordered structure, which influences its interaction with reagents as well as the formation of an inorganic coating. After imparting the properties, as shown in Figures 1, 2 (c, d), the fibers are coated with a continuous granular layer. The coating, which is densely distributed over the surface, indicates effective application and fixation of the inorganic phase onto the substrate. Furthermore, the uniformity of the coating confirms the formation of a surface layer free of agglomerates.

Thus, the SEM results demonstrate that the modification ensures a uniform distribution of functional components on both cotton and flax fibers. Thanks to this surface structure, the material acquires multifunctional properties: antimicrobial activity and flame retardancy. The more uniform and stable the coating, the higher the operational reliability and safety of the textile material, ensuring the long-term durability of its functional characteristics.

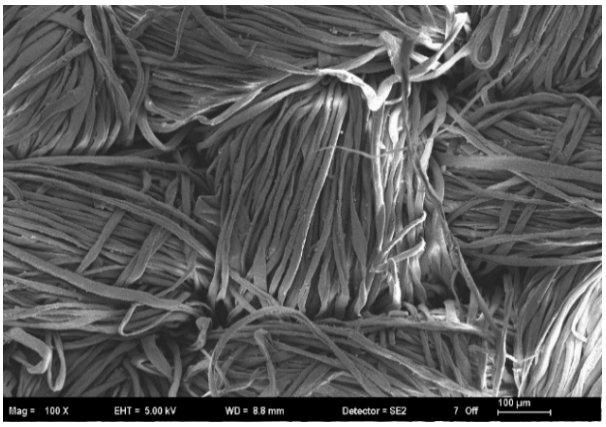
SEM analysis confirmed the formation of a granular inorganic layer uniformly distributed on the fiber surface. This morphology is consistent with the effective immobilization of copper and the subsequent formation of a phosphorus - silicon network. In contrast to one-step treatments or modifications using other metallic nanoparticles [17,18], the present two-step immersion method yielded a stable, homogeneous coating that contributed.



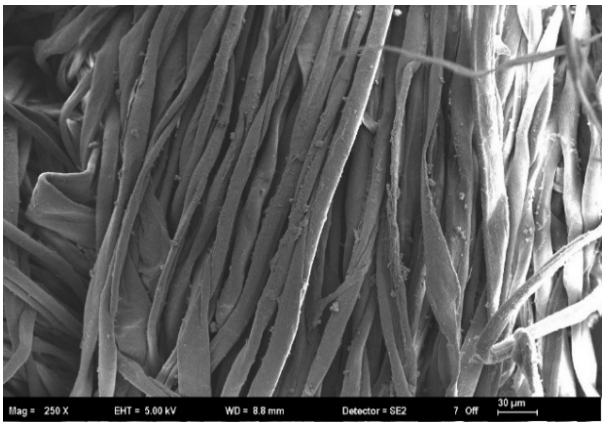
a) CR: 100 (100 µm)



b) CR: 250 (30 µm)

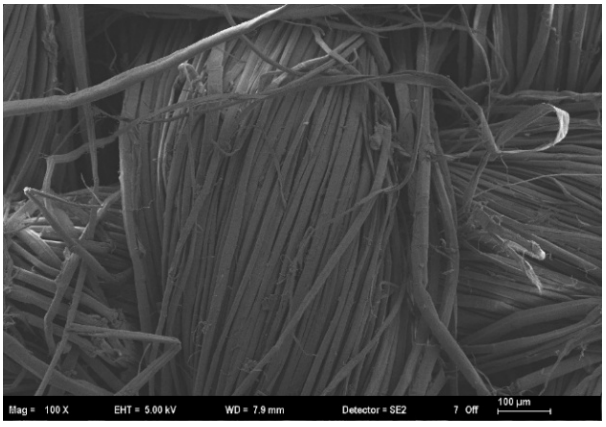


c) C-2: 100 (100 µm)

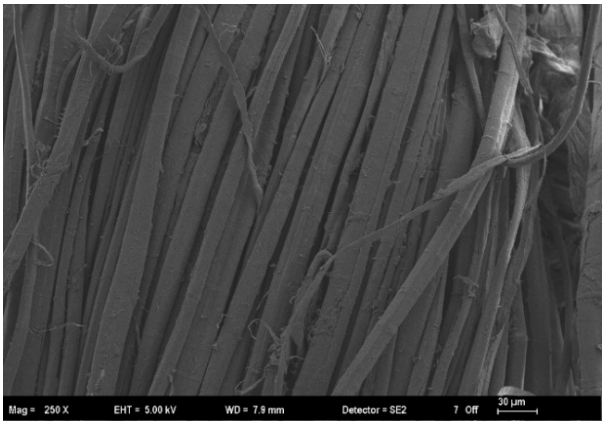


d) C-2: 250 (30 µm)

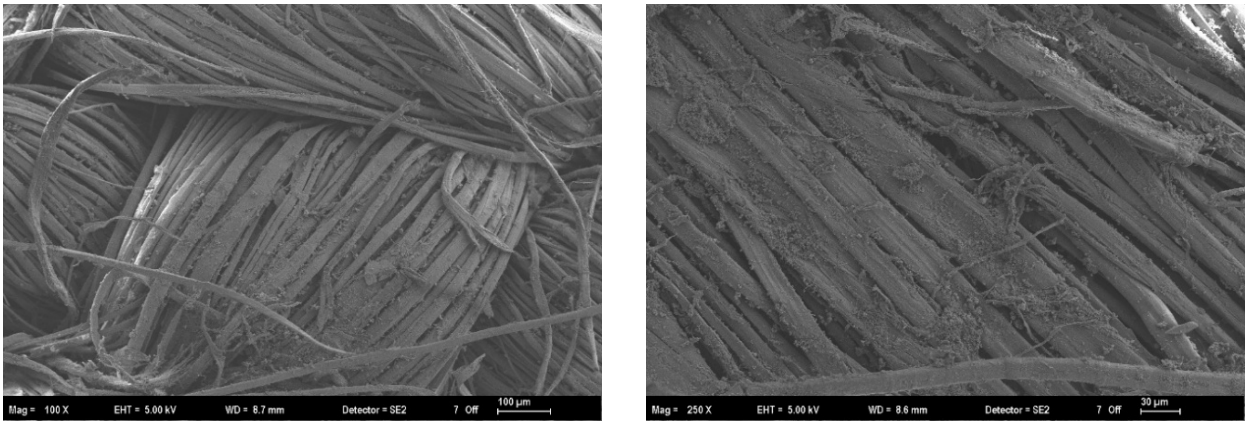
Fig.1 - Surface morphology of untreated (a, b) and modified (c, d) cotton fabrics



a) FR: 100 (100 µm)



b) FR: 250 (30 µm)



c) F-2: 100 (100 µm) **d) F-2: 250 (30 µm)**

Fig.2 - Surface morphology of untreated (a, b) and modified (c, d) flax fabrics

The flame-retardant properties of cotton and flax fabrics were evaluated in accordance with GOST 11209-2014. The results showed that all samples (cotton and flax) exhibited no afterflame or afterglow (0 seconds). The key parameter was the character length (Table 2). For untreated cotton and flax samples, this parameter was 13 cm and 11 cm, respectively, exceeding the regulatory value (≤10 cm) and therefore not meeting the standard requirements. After flame-retardant treatment, the char length decreased by 23% for cotton fabric and by 27% for flax fabric, indicating a pronounced barrier effect of the formed coating.

Table 2 - Flame-retardant properties of cotton and flax fabrics

№	Sample code	Afterflame time (s)	Afterglow time (s)	Char length (cm)	Within standard limit
Before flame-retardant treatment					
1	-	0	0	13	No
2	-	0	0	11	No
After flame-retardant treatment					
3	C-2	0	0	10	Yes
4	F-2	0	0	8	Yes

The treated fabrics demonstrated significantly improved flame-retardant performance compared to the untreated samples.

According to the experimental results, the formation of a phosphorus-siloxane network on the fabric surface ensures the material's flame resistance, which contributes to the formation of a protective char layer. At the same time, silicon dioxide acts as a barrier to oxygen. Thus, the reduction in residual flame on the treated samples confirms their compliance with regulatory requirements.

To determine the antibacterial properties of the samples, the ISO 20645:2015 test method was used on S. aureus and E. coli. As shown in Figure 3, bacterial growth is observed in the control samples CR and FR, indicating the absence of an inhibition zone; in contrast, inhibition zones are observed around samples C 2 and F 2, demonstrating pronounced antimicrobial activity.

The data obtained demonstrate the effectiveness of this method for imparting antimicrobial properties, which is consistent with the hypothesis that copper ions are immobilized in the organosilicon matrix.

The strength of the samples was evaluated based on the tensile load in the warp and weft directions. As shown in Table 3, the FR samples exhibit significantly higher strength than the CR samples, which is attributed to the fact that the yarn has a higher degree of crystallinity. After modification, the strength of sample C-2 increased by 11% in the warp direction and 23% in the weft direction, while for F-2, it increased by 17% in the warp direction and 19% in the weft direction. The increase in strength of the treated samples is associated with the deposition of nanoparticles on the fiber surface, which contributes to structural reinforcement of the fiber, as well as the formation of a phosphorus-silicon network, which increased their stiffness and intermolecular interactions.

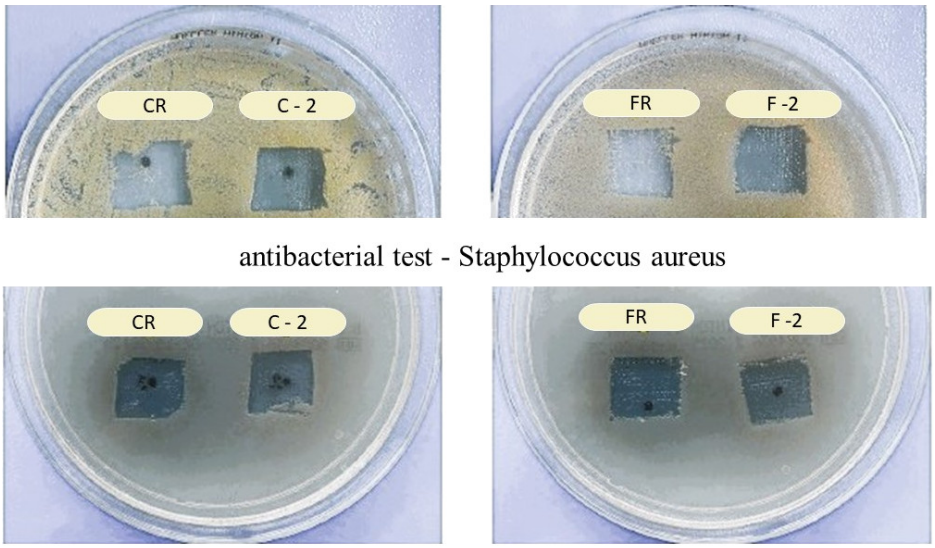


Fig.3 - Testing of samples against S. aureus and E. coli

Table 3 - Tensile strength results before and after modification

№	Sample code	Breaking force in the warp direction (N)	Breaking force in the weft direction (N)
Before modification			
1	CR	360	306
2	FR	398	471
After modification			
3	C-2	399	377
4	F-2	465	559

These results confirm that fabric modification not only imparts specific properties but also enhances the fabric's resistance to mechanical stress.

Toxicological safety assessments of the modified

samples, conducted to evaluate their suitability for practical application, showed that all values fall within the standard ranges (70 -120% for water and 80 - 120% for air). Based on the results, the values for sample C 2 are 101% in water and 97% in air, while for F 2 they are 102% in water and 90% in air. These values confirm the absence of a significant toxicological effect.

The modified cotton and linen samples meet toxicological safety requirements and can be considered promising materials for flame-retardant and antimicrobial textiles.

Conclusion: A composition based on copper sulfate and tetraethoxysilane was developed using “green chemistry” principles to impart multifunctionality, specifically antimicrobial and flame-retardant properties, forming a Cu-P-Si-based hybrid coating. The use of a two-step method facilitated a more uniform distribution of the coating. SEM analysis confirmed the presence of an inorganic network and the incorporation of the modification into the fiber matrix. Antibacterial tests demonstrated significant biocidal activity. Fire resistance tests confirmed compliance with the standard’s requirements. Following modification, an increase in the strength of the samples of approximately 16% was observed. An assessment of the toxicological safety of the modified fabrics confirmed compliance with regulatory requirements. The active components, such as copper ions, are immobilized and do not migrate in water or air, and the coating itself does not produce harmful volatile substances. The results obtained confirm the promise of developing multifunctional materials for textiles intended for use in public interiors, educational institutions, transportation, and aviation.

The developed technology may be applied in the textile industry, including at the Almaty Cotton Factory LLP «AHBK Kargaly» and can be applied for the optimization and modernization of industrial production processes.

Financing. *This research is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP26195961, «Development of technology for obtaining new textile materials with special properties»).*

References

1. Liu I., Hu X., Fei B., Lee C., Fan S., Xin J.H., Noor N. Fluorine-free nanoparticle coatings on cotton fabric: comparing the UV-protective and hydrophobic capabilities of silica vs. silica – ZnO nanostructures // RSC Advances. - 2024. - Vol.7. - P.4301–4313. DOI 10.1039/D3RA08835A.

2. Gong X., Xiong Z., Chen X., Meng F., Wang H. Multifunctional superamphiphobic cotton fabrics with highly efficient flame retardancy, self-cleaning, and electromagnetic interference shielding // ACS Applied Materials & Interfaces. -2023.-Vol.15.- P.3395-3408. DOI 10.1021/acsami.2c21320.

3. Fang Y., Chen L., Liu J., Wu L. Multi-functionalization of cotton fabrics with excellent flame retardant, antibacterial and superhydrophobic properties // International Journal of Biological Macromolecules. - 2024. - Vol.254(2):127889. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2023.127889.

4. Dejene B.K., Abtew M.A., Pawlos M. Eco-friendly flame retardant and antibacterial finishing solutions for cotton textiles: A comprehensive review // Journal of Industrial Textiles. - 2025. - Vol. 55. -P. DOI 10.1177/15280837251325779.

5. Qiu X., Li Zh., Li X., Zhang Zh. Flame retardant coatings prepared using layer by layer assembly. A review // Chemical Engineering Journal. - 2018.-Vol.334.- P.108–122. DOI 10.1016/j.cej.2017.09.194.

6. Jin L., Ji Ch., Chen S. Song, Z.; Zhou, J.; Qian, K.; Guo, W. Multifunctional Textiles with Flame Retardant and Antibacterial Properties: A Review. // Molecules. - 2023. - Vol.2 (18): 6628. DOI 10.3390/molecules28186628.

7. Gudkov S.V., Burmistrov D.E., Fomina P.A., Validov S.Z., Kozlov V.A. Antibacterial Properties

of Copper Oxide Nanoparticles // International Journal of Molecular Sciences. - 2024. - Vol.25 (21): 11563. DOI 10.3390/ijms252111563. Gudkov SV, Burmistrov DE, Fomina PA, Validov SZ, Kozlov VA. Antibacterial Properties of Copper Oxide Nanoparticles (Review). International Journal of Molecular Sciences. - 2024.-Vol.25(21):11563. DOI 10.3390/ijms252111563.

8. Saxena R., Kotnala Sh., Bhatt S.C. A review on green synthesis of nanoparticles toward sustainable environment // Sustainable Chemistry for Climate Action. -2025. - Vol.6: 100071. DOI 10.1016/j.scca.2025.100071.

9. Tausarova B., Takej E. Zol’ - gel’ tehnologija pridanija ognezashhitnyh svojstv celljuloznym tekstil’ nym materialam // Nanoindustrija. -2018. - № 1(80). - S.68-72. [in Russian]

10. Baimakhanova M.B., Jurinskaya I.M., Taussarova B.R., Onggar T. Modifying cotton fabrics with copper nanoparticles to impart antibacterial properties // The Journal of Almaty Technological University. - 2025. - Vol.149 (3). - P.269-278. DOI 10.48184/2304-568X-2025-3-269-278.

11. Dovnar R.I., Smotrin S.M., Anufrik S.S., Sokolova T.N., Anuchin S.N., Ioskevich N.N. Antibakterial’ nye i fiziko-himicheskie svojstva nanochastic serebra i oksida cinka // Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta. -2022.- №.20 (1). - S.98-107. DOI 10.25298/2221-8785-2022-20-1-98-107. [in Russian]

12. GOST 11209–2014. Tkani dlja special’ noj odezhdy. Obshhie tehnicheskie trebovanija. Metody ispytanij. – Vved.2018-01-01. – M.: Standartinform, 2015. – V.16 s. URL: https://meganorm.ru/Data2/1/4293766/4293766068.pdf- Data obrashhenija: 16.12.2025. [in Russian]

13. GOST ISO 20645:2015 – Izdelija tekstil’ nye. Opredelenie antibakterial’ noj aktivnosti. Diffuznoe ispytanie v chashkah s agarovoj sredoj. - Vved.2017-07-01. – M.: Standartinform, 2016. –V.8 s. URL: https://meganorm.ru/Data2/1/4293754/4293754654.pdf- Data obrashhenija: 16.12.2025. [in Russian]

14. ASTM E2149:13 – Standard test method for determining the antimicrobial activity of immobilized antimicrobial agents under dynamic contact conditions. - ASTM International, 2013. URL: https://standards.iteh.ai astm-e2149-13? srsltid=AfmBOorVWJx79tLqJWQ_9SUJDvC5ejbj5JsbzlXnLXdBCpgT8OeT-6-l. - Data obrashhenija: 16.12.2025

15. ISO 13934-1:2013 – Textiles – Tensile properties of fabrics – Part 1: Determination of maximum force and elongation at maximum force using the strip method. - International Standard confirmed, 2013. - № 2. P.12. URL: https://www.iso.org/standard/60676.html.- Date accessed: 16.12.2025

17. Mohammadjani Kumeleh S., Asadipour F., Shabani Arbusara N. Eco-Friendly Fabrication of Copper Nanoparticles for Antibacterial Textiles: Advancements in Green Synthesis. // Asian Journal of Green Chemistry. -2025. -Vol.9 (5). - P.676–700. DOI 10.48309/AJGC.2025.514348.1718.

18. Chen X., Ding F., Zhang S., Liu Y., Hou X., Ren X. Flame-retardant, antibacterial and hydrophobic multifunctional coatings on cotton fabrics via layer-by-layer self-assembly // Cellulose. - 2023. - Vol.30. - P. 6679–6694. DOI 10.1007/s10570-023-05287-5.

Information about the authors

Baimakhanova M.B.- PhD student, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: moldir.baymakhanova@mail.ru;

Jurinskaya I.M. - PhD, Associate Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: indi_0679@mail.ru;

Onggar Toty - PhD, Technical University of Dresden, Dresden, Germany, e-mail: totyonggar@yahoo.com.

Сведения об авторах

Баймаханова М.Б.- PhD студент, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: moldir.baymakhanova@mail.ru;

Джуринская И.М.- PhD, Ассоциированный профессор, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: indi_0679@mail.ru;

Онгар Тоты - PhD, Дрезденский технический университет, Дрезден, Германия, e-mail: totyonggar@yahoo.com.

МРНТИ 61.53.91 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1705**

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ УГЛЯ

[1]Н.У. Нургалиев, [1]Х.Б. Омаров, [1]Н.Т. Смайлова, [1]Э.Б. Жунусова, [2]Д.Д. Мейрам, [1]Э.К. Каржауова

[1]Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
[2]Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,

Корреспондент-автор: nurgaliev_nao@mail.ru, diana.meiram.19@mail.com

В настоящее время переработка золошлаковых отходов угольной промышленности является одной из актуальных задач, направленных на снижение экологической нагрузки и вовлечение техногенных отходов в качестве вторичного сырья для получения ценных продуктов. Значительный интерес представляет извлечение диоксида кремния из золошлаковых отходов, образующихся при сжигании угля, характеризующихся высоким содержанием кремнеземсодержащих компонентов.

В данной статье проведено исследование влияния технологических параметров на процесс переработки золошлаковых отходов угля разреза «Богатырь» с целью извлечения диоксида кремния SiO_2 и установления оптимальных условий проведения процесса. Для определения закономерностей процесса использован метод математического планирования эксперимента с применением 4-факторной матрицы типа $n = p^2$ и статистической обработки экспериментальных данных. В качестве основных варьируемых факторов исследованы температура процесса, концентрация щелочного раствора, время термической обработки и массовое соотношение жидкость/твердое.

На основании экспериментальных данных построены частные зависимости степени извлечения SiO_2 от исследуемых факторов, определены коэффициенты корреляции и получено обобщенное уравнение Протодьяконова, адекватно описывающее исследуемый процесс. Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологий комплексной переработки золошлаковых отходов угольных месторождений с получением кремнеземсодержащих и металлосодержащих продуктов.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, зола угля, диоксид кремния, переработка золы, извлечение диоксида кремния, планирование эксперимента, степень извлечения, оптимизация процесса.

КӨМІРДІҢ КҮЛ-ҚОЖ ҚАЛДЫҚТАРЫН ҚАЙТА ӨҢДЕУ ПРОЦЕСІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

[1]Н.У. Нургалиев, [1]Х.Б. Омаров, [1]Н.Т. Смайлова, [1]Э.Б. Жунусова, [2]Д.Д. Мейрам, [1]Э.К. Каржауова

[1]Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[2]Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
e-mail: diana.meiram.19@mail.com

Қазіргі уақытта көмір өнеркәсібінің күл-қож қалдықтарын қайта өңдеу экологиялық жүктемені азайтуға және бағалы өнімдерді алу үшін қайталама шикізат ретінде техногендік қалдықтарды тартуға бағытталған өзекті міндеттердің бірі болып табылады. Құрамында кремний бар компоненттердің көп болуымен сипатталатын көмірді жағу кезінде пайда болатын күл-қож қалдықтарынан кремний диоксидін алу үлкен қызығушылық тудырады.

Мақалада SiO_2 кремний диоксидін бөліп алу және процесті жүргізудің оңтайлы шарттарын анықтау мақсатында «Богатырь» разрезінің көмір күл-қож қалдықтарын қайта өңдеу процесіне технологиялық параметрлердің әсері зерттелді. Процестің заңдылықтарын анықтау үшін $n = p^2$ типті 4-факторлы матрицаны қолдана отырып, эксперименттті математикалық жоспарлау әдісі және эксперименттік деректерді статистикалық өңдеу пайдаланылды. Негізгі өзгермелі факторлар ретінде процесс температурасы, сілтілі ерітіндінің концентрациясы, термиялық өңдеу уақыты және сұйық/қатты массалық қатынасы зерттелді.

Эксперименттік деректер негізінде зерттелген факторларға байланысты SiO_2 бөліп алу дәрежесінің жеке тәуелділіктері құрылды, корреляция коэффициенттері анықталды және зерттелетін процесті барабар сипаттайтын жалпыланған Протодьяконов теңдеуі алынды. Алынған нәтижелер кремнеземқұрамды және металлқұрамды өнімдер алуға бағытталған көмір кен орындарының күл-қож қалдықтарын кешенді қайта өңдеу технологияларын әзірлеу кезінде пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: күл-қож қалдықтары, көмір күлі, кремний диоксиді, күлді қайта өңдеу, кремний диоксидін бөліп алу, экспериментті жоспарлау, бөліп алу дәрежесі, процесті оңтайландыру.

OPTIMIZATION OF COAL ASH-SLAG WASTE PROCESSING

[1]N.U. Nurgaliyev✉, [1]Kh.B. Omarov, [1]N.T. Smailova, [1]E.B. Zhunusova, [2]D.D. Meiram✉, [1]E.K. Karzhauova

[1]K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Busines, Astana, Kazakhstan,
[1]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru, diana.meiram.19@mail.com

Currently, the processing of coal industry ash and slag waste is one of the urgent tasks aimed at reducing environmental impact and involving technogenic waste as secondary raw materials for obtaining valuable products. Of particular interest is the extraction of silicon dioxide from ash and slag waste generated during coal combustion, which is characterized by a high content of silica-containing components.

This article investigates the influence of technological parameters on the processing of ash and slag waste from the “Bogatyr” coal mine with the aim of extracting silicon dioxide (SiO_2) and determining the optimal process conditions. To identify the process patterns, the method of mathematical experimental design using a 4-factor matrix of the $n = p^2$ type and statistical processing of experimental data was applied. The main variable factors studied were process temperature, alkali solution concentration, thermal treatment duration, and the liquid-to-solid mass ratio.

Based on the experimental data obtained, partial dependences of the SiO2 extraction degree on the investigated factors were constructed, correlation coefficients were determined, and a generalized Protodyakonov equation adequately describing the studied process was derived. The obtained results can be used in the development of technologies for the integrated processing of ash and slag waste from coal deposits with the production of silica-containing and metal-containing products.

Keywords: ash and slag waste, coal ash, silicon dioxide, ash processing, silicon dioxide extraction, experimental design, extraction degree, process optimization.

Введение. В последние годы в Казахстане, будучи страной с развитой угольной энергетикой, наблюдается повышенное внимание к экологическим аспектам, связанным с развитием в области техники и технологий. В связи с этим, особую актуальность приобретает комплексный подход к решению проблем утилизации различных отходов, включая золошлаковые (ЗШО). ЗШО, образующиеся на угольных теплоэлектростанциях, можно рассматривать как техногенные месторождения−накопления минеральных веществ, подходящих для экономически выгодного промышленного использования [1].

Ежегодно объем золошлаковых отходов, генерируемых на ТЭЦ, стремительно растет, с лидирующими позициями по производству у Китая, Индии и США. Текущий глобальный уровень ежегодного образования ЗШО оценивается примерно в 1,143 миллиарда тонн [2]. Масштабное аккумулирование ЗШО, генерируемых в процессе сжигания углей на теплоэлектростанциях и в котельных установках, в специализированных золоотвалах и шламонакопителях, представляет собой значительную экологическую проблему, поскольку ежегодно в мире производится сотни миллионов тонн таких отходов, что приводит к загрязнению почв, водоемов и атмосферы тяжелыми металлами и токсичными веществами [3]. Это обстоятельство стимулирует интенсивные исследования физико-химических характе-

ристик золы углей, направленные на оценку ее потенциала для вторичного использования и минимизации негативного воздействия на окружающую среду [4].

Золошлаковые отходы, также известные как зола-унос и шлак, возникают в результате термической переработки минеральной фракции топлива при температурах в диапазоне 1200-1700°C, что приводит к формированию сложных неорганических соединений [5,6]. Эти отходы представляют собой порошкообразный материал, состоящий преимущественно из оксидов металлов и неметаллов, где соединения основных золообразующих макроэлементов, включая кремний (Si), алюминий (Al), железо (Fe), кислород (O), кальций (Ca), титан (Ti), магний (Mg), серу (S), калий (K) и натрий (Na), достигают уровня 98-99 % от общей массы [3]. В зависимости от типа угля и условий сжигания, содержание основных компонентов может варьироваться: например, диоксид кремния (SiO_2) часто составляет 40-60 %, оксид алюминия (Al_2O_3) – 20-30 %, оксид железа (Fe_2O_3) – 5-15 %, а также присутствуют примеси оксида кальция (CaO) и других веществ, что определяет класс золы по ASTM [7].

Зола преимущественно содержит диоксид кремния, оксид алюминия и оксид железа, и характеризуется как тонкодисперсный аморфный материал с размером частиц в диапазоне 5-100 мкм, часто с преобладанием сферических морфологий (микросфер), что обусловлено быстрым охлаждением расплава в процессе сжигания [8]. Такая композиция делает ЗШО потенциально ценным сырьем, но также создает экологические риски при накоплении [5]. Кроме того, аморфная структура золы способствует ее реакционной способности, что важно для последующих технологических применений [9]. Это открывает перспективы их применения в различных промышленных секторах, преимущественно в производстве строительных материалов (как добавки в цемент, бетон, кирпич и т.д.) [10,11].

Целью данной работы является изучение влияния технологических параметров на процесс переработки ЗШО угля разреза «Богатырь» Экибастузского бассейна (далее - зола Богатырь) для извлечения диоксида кремния SiO_2 с установлением оптимальных условий исследуемого процесса.

Материалы и методы. Золу Богатырь получали в соответствии с методикой, описанной в работе [12].

Для определения оптимальных условий проведения процесса извлечения диоксида кремния SiO_2 из золы угля опыты осуществляли в соответствии с 4-факторной матрицей планирования эксперимента типа $n = p^2$ (n - число экспериментов, p - число уровней). Так как число уровней выбрали $p = 5$, то общее количество экспериментов $n = 25$.

Основными варьируемыми факторами являются: X_1–температура при (50-90 °C; X_2 - концентрация щелочи (10-30 %); X_3 - время термической обработки раствора (1-3 часа) (далее − время выдержки); X_4 - массовое соотношение щелочного раствора к золе угля (Ж/Т=4-8).

В качестве функции отклика Y (выходного параметра) выбрана степень извлечения SiO_2 (α, %). После выбора интервалов и уровней изменения факторов эти данные в виде условий проведения эксперимента и матрицы планирования эксперимента (с символьным представлением факторов) сведены в таблицы 1 и 2.

Таблица 1 - Уровни изучаемых факторов

Фактор	Уровень				
	1	2	3	4	5
X_1, температура, °C	50	60	70	80	90

X_2, концентрация, %	10	15	20	25	30
X_3, час	1	1,5	2	2,5	3
X_4, соотношение Ж/Т	4	5	6	7	8

Таблица 2 - Матрица планирования экспериментов (с символьным представлением факторов)

№ опыта	X_1	X_2	X_3	X_4
1	1	1	1	1
2	3	3	3	3
3	2	2	2	2
4	5	5	5	5
5	4	4	4	4
6	1	3	2	5
7	3	2	5	4
8	2	5	4	1
9	5	4	1	3
10	4	1	3	2
11	1	2	4	3
12	3	5	1	2
13	2	4	3	5
14	5	1	2	4
15	4	3	5	1
16	1	5	3	4
17	3	4	2	1
18	2	1	5	3
19	5	3	4	2
20	4	2	1	5
21	1	4	5	2
22	3	1	4	5
23	2	3	1	4
24	5	2	3	1
25	4	5	2	3

Результаты и их обсуждение. После проведения каждого опыта в соответствии с матрицей планирования эксперимента определяли степень извлечения SiO_2, результаты которого представлены в таблице 3 в виде эспериментальных значений степени извлечения *Yэ* (в таблице факторы приведены в виде фактических данных).

Таблица 3 - Матрица планирования экспериментов (с условиями проведения опытов)

№ опыта	X_1	X_2	X_3	X_4	$Y_э$	$Y_т$	$Y_э - Y_т$
1	50	10	1	4	2,7	6,8	-4,1
2	70	20	2	6	39,5	36,6	2,9
3	60	15	1,5	5	10,8	19,1	-8,3
4	90	30	3	8	62,4	78,1	-15,7
5	80	25	2,5	7	63,7	57,4	6,3
6	50	20	1,5	8	21,5	15,9	5,6
7	70	15	3	7	34,5	35,7	-1,2
8	60	30	2,5	4	19,3	23,9	-4,6
9	90	25	1	6	55,3	58,6	-3,3
10	80	10	2	5	26,1	26,8	-0,7
11	50	15	2,5	6	8,2	12,7	-4,5
12	70	30	1	5	34,2	33,7	-0,5
13	60	25	2	8	35,7	31,5	4,2
14	90	10	1,5	7	45,5	37,1	8,4
15	80	20	3	4	48,4	42,8	5,6
16	50	30	2	7	22,8	16,9	5,9
17	70	25	1,5	4	29,8	31,7	-1,9
18	60	10	3	6	13,8	16,8	-3,0
19	90	20	2,5	5	55,7	56,1	-0,4
20	80	15	1	8	38,9	42,4	-3,5
21	50	25	3	5	19,3	15,5	3,8
22	70	10	2,5	8	30,1	26,5	3,6
23	60	20	1	7	23,2	25,4	-2,2
24	90	15	2	4	45,3	41,3	4,0
25	80	30	1,5	6	53,4	49,7	3,7

Общее среднее значение *Yэ* (для 25 экспериментов) составило 33,6.

Как видно из полученных данных (таблица 3), наибольшие значения *Yэ* = 62,4 % и 63,7 % наблюдаются в опытах № 4 и № 5 соответственно.

Используя данные из таблицы 3 значения каждого фактора (функции) усредняли по каждому уровню и результаты вычислений сведены в таблицу 4. Как видно, среднее значение пяти уровней каждой функции равно общему среднему (33,6), что является критерием отсутствия ошибки в расчетах данных параметров.

На рисунках 1 и 2 на основании таблицы 4 приведены зависимости функции (степени извлечения) от каждого уровня всех факторов с приведением уравнений (полученных в результате аппроксимации экспериментальных точек) и величины достоверности аппроксимации.

Таблица 4 - Экспериментальные значения частных функций (для каждого уровня)

Функция	Уровень					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
Y_1	14,90	20,56	33,62	46,10	52,84	33,60
Y_2	23,64	27,54	37,66	40,76	38,42	33,60
Y_3	30,86	32,20	33,88	35,40	35,68	33,60
Y_4	29,10	29,22	34,04	37,94	37,72	33,60

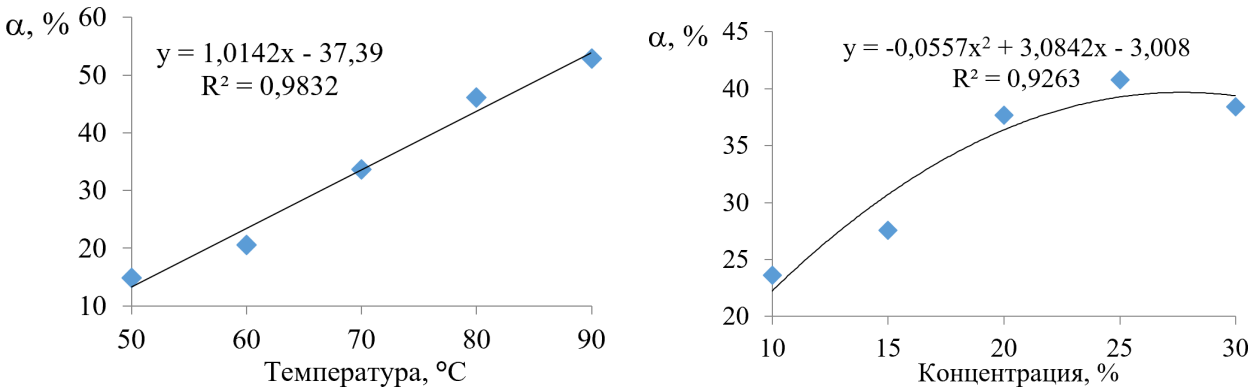


Рис.1 - Зависимости степени извлечения SiO_2 от температуры и концентрации

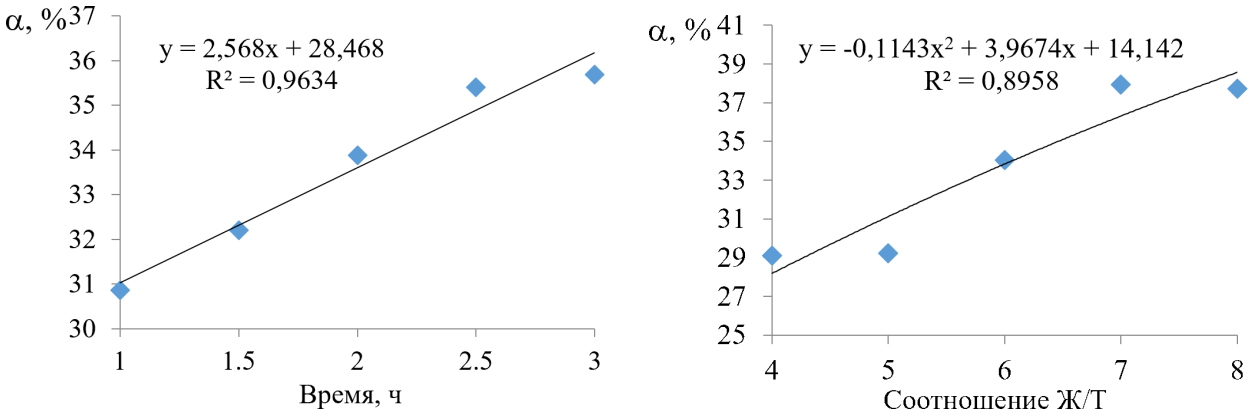


Рис.2 - Зависимости степени извлечения SiO_2 от времени и соотношения Ж/Т

Полученные результаты показали линейную зависимость степени извлечения SiO_2 от температуры и времени выдержки, где с увеличением значений данных параметров степень извлечения заметно повышается, которая, за исключением времени выдержки более 2,5 часов, почти не меняется (исходя из экспериментальных точек). Вместе с тем, данные зависимости от концентрации и соотношения Ж/Т носят более сложный, полиномиальный характер. При этом видно, что уже при дальнейшем повышении концентрации свыше 25 % и соотношения от Ж/Т = 7, наблюдается их незначительное увеличение. Такое поведение связано, по-видимому, с повышением вязкости растворов из-за увеличения количества щелочи, которое в свою очередь непо-

средственно связано с концентрацией и соотношением Ж/Т.

С использованием выведенных частных зависимостей, сведем (аналогично экспериментальным данным из таблицы 4 расчетные их значения при матричных уровнях аргументов в отдельную таблицу 5.

Как видно из таблицы 5, наблюдается близкое соответствие алгебраических зависимостей точечным графикам, о чем показывает совпадение средних расчетных значений всех функций со значением 33,6 (%), полученным при усреднении экспериментальных частных функций (таблица 4). Это свидетельствует о компенсации отклонений частных функций при их обобщении.

Таблица 5 - Расчетные значения частных функций (для каждого уровня)

Функция	Уровень					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
$Y_1 = 1,0142 \cdot X_1 - 37,39$	13,32	23,46	33,60	43,75	53,89	33,60
$Y_2 = -0,0557 \cdot X_2^2 + 3,0842 \cdot X_2 - 3,008$	22,26	30,72	36,40	39,28	39,40	33,61
$Y_3 = 2,568 \cdot X_3 + 28,468$	31,04	32,32	33,60	34,89	36,17	33,60
$Y_4 = -0,1143 \cdot X_4^2 + 3,9674 \cdot X_4 + 14,142$	28,18	31,12	33,83	36,31	38,57	33,60

Для определения значимости частных функций рассчитывали коэффициент нелинейной множественной корреляции R и его значимость t_R (при доверительной вероятности 0,95):

$$R = \sqrt{1 - \frac{(N-1)\cdot \sum_1^N (Y_э - Y_T)^2}{(N-K-1)\cdot \sum_1^N (Y_э - Y_{cp})^2}}; t_R = \frac{R\cdot\sqrt{N-K-1}}{1-R^2} > 2 \quad (1)$$

где N - число описываемых точек; K - число действующих факторов; $Yэ$ - экспериментальный результат; Y_T - теоретический (расчетный) результат; $Ycp_.$ - среднее экспериментальное значение.

При анализе значимости частной функции (при $t_R > 2$) число точек $N = 5$, а $K = 1$, т.к. учитывается влияние только одного фактора, при этом $Ycp_.$ совпадает с общим средним. Данные для $Yэ$ брали из таблицы 4, а для Y_T - из таблицы 5.

Результаты расчета коэффициента корреляции и его значимости
(таблица 6) показали значимость всех частных функций.

Таблица 6 - Коэффициент корреляции R и его значимость t_R для частных функций

Функция	R	t_g	Значимость функции
$Y1$	0,9887	76,11 > 2	значима
$Y2$	0,9495	16,69 > 2	значима
$Y3$	0,9753	34,61 > 2	значима
$Y4$	0,9277	11,52 > 2	значима

Для получения обобщенной функции зависимости от всех аргументов использовали обобщенное уравнение Протодьяконова для описания статистических многофакторных зависимостей, которое имеет вид:

$$Y = \frac{\prod_1^n Y_i}{Y_{cp}^{n-1}} \qquad (2)$$

где Y - обобщенная функция; n - число частных функций; Y_i - частная функция; $\prod_1^n Y_i$- произведение всех частных функций; Yср. - общее среднее всех учитываемых значений обобщенной функции.

На основании полученных частных функций Y_i (таблица 5) получаем обобщенное уравнение Протодьяконова (для удобства записи X_3 и X_4 перевели в знаменатель):

$$Y_П = \frac{(1,0142 \cdot X_1 - 37,39) \cdot (-0,0557 \cdot X_2^2 + 3,0842 \cdot X_2 - 3,008)}{33,6^3 \cdot [2,568 \cdot X_3 + 28,468]^{-1} \cdot [-0,1143 \cdot X_4^2 + 3,9674 \cdot X_4 + 14,142]^{-1}} \qquad (3)$$

Результаты вычислений в виде теоретических Y_T приведены в таблице 3.

На рисунке 3 показана поверхность отклика для обобщенного уравнения Протодьяконова (при постоянных значениях времени выдержки X_3 = 3 ч и соотношения Ж/Т=7).

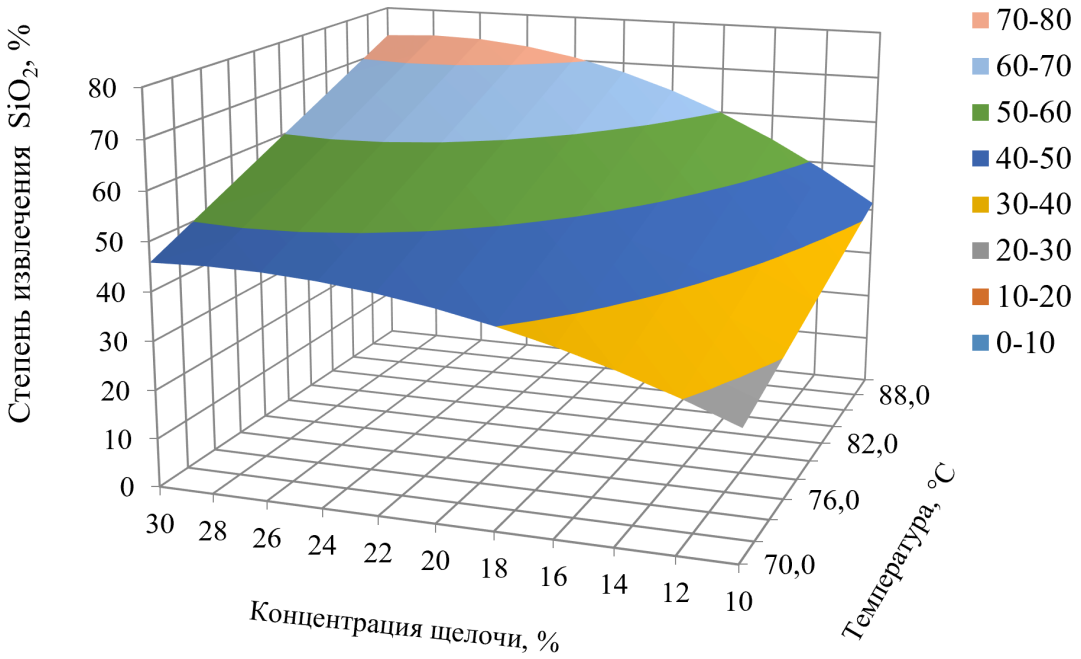


Рис.3 - Зависимость извлечения SiO_2 из золы Богатырь от основных параметров эксперимента

Для проверки адекватности обобщенного уравнения сначала проводили сравнение результатов вычислений по уравнению (3) с экспериментальными данными (таблица 4). Для этого из таблицы 5 подставляли в уравнение (3) такие значения частных функций, которые соответствуют условиям проведения каждого из 25 матричных экспериментов. Результаты вычислений

(в виде теоретических Y_T) приведены в таблице 3. Затем на основании этих данных определяли коэффициент корреляции R и его значимость t_R при N = 25 и K = 5. Результаты вычислений составили: R = 0,9343, t_R = 32,02 > 2, что указывает на адекватность обобщенного уравнения (3). Ошибку уравнения определяли по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n \left(Y_э - Y_П\right)^2}{N - K - 1}} \qquad (4)$$

Значение составило 6,1 абс. %, что является допустимым для такого рода погрешностей.

Таким образом, полученные данные показывают, что наибольшие степени извлечения SiO_2 из золы Богатырского угля составляют 62,4% и 63,7% и наблюдаются соответственно в опытах №4 и №5 (таблица 3).

Для более тщательного исследования влияния факторов на степень извлечения SiO_2 при вышеуказанных условиях (при X_4 = 7) проведен расчет по уравнению Протодьяконова (3), результаты которого приведены в таблице 7. Видно, что наибольшее извлечение SiO_2 (70,70-73,50 %) наблюдается при температуре 90°С, концентрациях 25-30%, времени выдержки 2,5-3 ч (опыты № 9-12).

Таблица 7 - Результаты расчета степени извлечения SiO_2 по уравнению Протодьяконова для золы Богатырского угля при X_4 = 7

№	X1, °C	X2, %	X3, ч	Y, %
1	80	25	2,5	57,40
2			3	59,51
3		30	2,5	57,55
4			3	59,67
5	85	25	2,5	64,05
6			3	66,41
7		30	2,5	64,22
8			3	66,58
9	90	25	2,5	70,70
10			3	73,30
11		30	2,5	70,89
12			3	73,50

Для повышения степени извлечения SiO_2 из угольной золы можно увеличить только значение времени выдержки (фактор X_3), так как температуру процесса и концентрацию щелочи повышать нецелесообразно, из-за интенсивного испарения водно-щелочного раствора при высоких температурах (близких к 100 °С) и расхода щелочи и соответственно дополнительного расхода кислоты для нейтрализации щелочного раствора. Поэтому проведены расчеты по уравнению Протодьяконова (3) при условиях наибольшего извлечения SiO_2 (опыты 9-12, таблица 7), которые показали, что для достижения степени извлечения SiO_2, близкой к 100% (99,33-99,59%) необходимо увеличить время выдержкидо 8 ч. Но так как это большая длительность процесса, то максимальное время выдержки выбрали 4-5 часов.

Так как при X_2 = 25 % и X_2 = 30 % степени извлечения SiO_2 приблизительно сопоставимы

(таблица 7), проведены эксперименты при следующих условиях: X_1 = 90°C, X_2 = 25 %; X_3 = 4-5 ч, X_4 = 7. В таблице 8 представлены результаты экспериментов и расчетов по уравнению Протодьяконова. Эксперименты показывают, что при увеличении времени выдержки более 3 часов степень извлечения SiO_2 изменяется незначительно (в пределах ошибок опытов).

Таблица 8 - Экспериментальные и теоретические данные по извлечению SiO_2 из золы Богатырского угля при X_1=25%, X_2=90°C, X_4 = 7

X_3, ч	$Y_э$, %	$Y_т$, %
4,0	63,1	78,51
4,5	64,2	81,11
5,0	61,8	83,71

Так как в процессе извлечения SiO_2 из золы угля одновременно можно получать и металлосодержащий продукт, то полученные оптимальные условия исследуемого процесса относятся также и к данному продукту.

Выводы. В данной работе проведено исследование влияния технологических параметров на процесс извлечения диоксида кремния из золошлаковых отходов угля разреза «Богатырь» с использованием методов математического планирования эксперимента и статистической обработки результатов. Для изучения закономерностей процесса использована 4-факторная матрица планирования эксперимента, в которой варьировались температура процесса, концентрация щелочного раствора, время выдержки и массовое соотношение жидкость/твердое. На основе экспериментальных данных получены частные уравнения регрессии, описывающие влияние исследуемых факторов на степень извлечения SiO_2, а также построено обобщенное уравнение Протодьяконова, адекватность которого подтверждена высокими значениями коэффициента корреляции. Проведенные расчеты и экспериментальные исследования показали, что оптимальными условиями, при которых наблюдается наибольшая степень извлечения SiO_2, являются следующие: температура X_1 = 80-90 °C, концентрация X_2 = 25-30 %; время выдержки X_3 = 2,5-3 ч, X4 = 7-8 (соотношение Ж/Т). Установлено, что при указанных условиях степень извлечения диоксида кремния составляет 70,7-73,5 % по результатам расчета, а максимальные экспериментальные значения составили 62,4 % и 63,7 %. Кроме того, установлено, что полученные оптимальные параметры процесса могут быть использованы не только для извлечения диоксида кремния, но и для комплексной переработки золошлаковых отходов с одновременным получением металлосодержащего продукта. Это свидетельствует о возможности повышения эффективности использования золы угля в качестве техногенного сырья и расширения направлений ее промышленной переработки. Полученные результаты свидетельствуют о возможности эффективной переработки ЗШО и могут быть использованы при разработке технологий комплексного использования минеральных отходов. с получением ценных кремнеземсодержащих и металлосодержащих продуктов.

Литература

1. Xing M., Fu S., Zheng P., Wang M., Zhao L., Guo F., Jiang F., Li C. Selective recycling of rare earth elements from high alumina fly ash by phase separation assisted mechanochemical extraction process // Process Safety and Environmental Protection. - 2025. - Vol.204:108047. DOI 10.1016/j.psep.2025.108047.

2. Tian X., Guo Z., Zhu D., Pan J., Yang C., Li S. Recovery of valuable elements from coal fly ash: A review//Environmental Research.- 2025. - Vol.282:121928. DOI 10.1016/j.envres.2025.121928.

3. Liu P., Zhao S., Xie N., Yang L., Wang Q., Wen Y., Chen H., Tang Y. Green Approach for Rare Earth Element (REE) Recovery from Coal Fly Ash // Environmental Science & Technology.- 2023. - Vol.57(13). - P.5414 - 5423.DPOI 10.1021/acs.est.2c09273.

4. Shi S., Chen T., Ren S., Pan J. Bio-Desilication of Coal Fly Ash and the Impacts on Critical Metal Recovery // Metals. - 2025.-Vol.15.(№ 8): 891. DOI 10.3390/met15080891.

5. Trinh H.B., Seunghyun Kim S., Lee J. Recovery of rare earth elements from coal fly ash using enrichment by sodium hydroxide leaching and dissolution with hydrochloric acid // Separation Science and Technology.- 2022.- Vol.57(10). - P.1580-1591. DOI 10.1080/12269328.2022.2120092..

6. Fan X-L., Xia J-L., Zhang D-R., Nie Z-Y., Liu Y-P , Zhang L-J., Zhang D-Y. Highly-efficient and sequential recovery of rare earth elements, alumina and silica from coal fly ash via a novel recyclable ZnO sinter method // Journal of Hazardous Materials.-2022.-Vol.437:129308. DOI 10.1016/j.jhazmat.2022.129308.

7. Dardona M., Mohanty S., M.J., Dittrich T.M. From ash to oxides: Recovery of rare-earth elements as a step towards valorization of coal fly ash waste // Resources, Conservation and Recycling.- 2023. - Vol.314: 123532.DOI 10.1016/j.seppur.2023.123532.

8. Kong D., Gao Y., Song S., Jiang R. Kinetics and Mechanism of SiO_2 Extraction from Acid-Leached Coal Gangue Residue by Alkaline Hydrothermal Treatment // Materials.-2024.-Vol.17. (17): 4168. DOI 10.3390/ma17174168.

9. Shoppert A., Valeev D., Loginova I. Kinetics of Aluminum and Scandium Extraction from Desilicated Coal Fly Ash by High-Pressure HCl Leaching // Metals.-2023.-Vol.13(12): 1994. DOI 10.3390/met13121994.

10. Hassas B.V., Rezaee M., Zhou C., Pisupati S.V. Recovery of rare earth elements from coal fly ash through sequential chemical roasting, water leaching, and acid leaching processes // Advanced Powder Technology.-2020. -Vol.31(12). - P.4753-4762. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.124725.

11. Shoppert A., Valeev D., Napol'skikh J., Loginova I., Pan J., Chen H., Zhang L. Rare-Earth Elements Extraction from Low-Alkali Desilicated Coal Fly Ash by $(NH_4)_2SO_4 + H_2SO_4$ // Metals.- 2022.- Vol.16(6). DOI 10.3390/ma16010006.

12. Ермагамбет Б.Т., Нургалиев Н.У., Абылгазина Л.Д., Маслов Н.А. Методы переработки золошлаковых отходов от сжигания углей // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. - 2018.- Vol.124(3).- 60-67 DOI 10.32523/2616-7263-2018-124-3-%25p.

References

1. Xing M., Fu S., Zheng P., Wang M., Zhao L., Guo F., Jiang F., Li C. Selective recycling of rare earth elements from high alumina fly ash by phase separation assisted mechanochemical extraction process // Process Safety and Environmental Protection. - 2025. - Vol.204:108047. DOI 10.1016/j.psep.2025.108047.

2. Tian X., Guo Z., Zhu D., Pan J., Yang C., Li S. Recovery of valuable elements from coal fly ash: A review//Environmental Research.- 2025. - Vol.282:121928. DOI 10.1016/j.envres.2025.121928.

3. Liu P., Zhao S., Xie N., Yang L., Wang Q., Wen Y., Chen H., Tang Y. Green Approach for Rare Earth Element (REE) Recovery from Coal Fly Ash // Environmental Science & Technology.- 2023. - Vol.57(13). - P.5414 - 5423.DPOI 10.1021/acs.est.2c09273.

4. Shi S., Chen T., Ren S., Pan J. Bio-Desilication of Coal Fly Ash and the Impacts on Critical Metal Recovery // Metals. - 2025.-Vol.15.(№ 8): 891. DOI 10.3390/met15080891.

5. Trinh H.B., Seunghyun Kim S., Lee J. Recovery of rare earth elements from coal fly ash using enrichment by sodium hydroxide leaching and dissolution with hydrochloric acid // Separation Science and Technology.- 2022.- Vol.57(10). - P.1580-1591. DOI 10.1080/12269328.2022.2120092…...

6. Fan X-L., Xia J-L., Zhang D-R., Nie Z-Y., Liu Y-P , Zhang L-J., Zhang D-Y. Highly-efficient and sequential recovery of rare earth elements, alumina and silica from coal fly ash via a novel recyclable ZnO sinter method // Journal of Hazardous Materials.-2022.-Vol.437:129308. DOI 10.1016/j.jhazmat.2022.129308.

7. Dardona M., Mohanty S., M.J., Dittrich T.M. From ash to oxides: Recovery of rare-earth elements as a step towards valorization of coal fly ash waste // Resources, Conservation and Recycling.- 2023. - Vol.314: 123532.DOI 10.1016/j.seppur.2023.123532.

8. Kong D., Gao Y., Song S., Jiang R. Kinetics and Mechanism of SiO_2 Extraction from Acid-Leached Coal Gangue Residue by Alkaline Hydrothermal Treatment // Materials.-2024.-Vol.17. (17): 4168. DOI 10.3390/ma17174168.

9. Shoppert A., Valeev D., Loginova I. Kinetics of Aluminum and Scandium Extraction from Desilicated Coal Fly Ash by High-Pressure HCl Leaching // Metals.-2023.-Vol.13(12): 1994. DOI 10.3390/met13121994.

10. Hassas B.V., Rezaee M., Zhou C., Pisupati S.V. Recovery of rare earth elements from coal fly ash through sequential chemical roasting, water leaching, and acid leaching processes // Advanced Powder Technology.-2020. -Vol.31(12). - P.4753-4762. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.124725.

11. Shoppert A., Valeev D., Napol'skikh J., Loginova I., Pan J., Chen H., Zhang L. Rare-Earth Elements Extraction from Low-Alkali Desilicated Coal Fly Ash by $(NH_4)_2SO_4 + H_2SO_4$ // Metals.- 2022.- Vol.16(6). DOI 10.3390/ma16010006.

12. Ermagambet B.T., Nurgaliev N.U., Abylgazina L.D., Maslov N.A. Metody pererabotki zoloshlakovyh othodov ot szhiganija uglej // Vestnik Evrazijskogo nacional' nogo universiteta imeni L.N. Gumileva. - 2018.- Vol.124(3).- 60-67 DOI 10.32523/2616-7263-2018-124-3-%25p.[in Russian]

Информация об авторах

Нургалиев Н.У.- кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru;

Омаров Х.Б.- доктор технических наук, профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: homarov1963@mail.ru;

Смайлова Н.Е.- доктор технических наук, профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: ganibek2006@mail.ru;

Жунусова Э.Б.- кандидат технических наук, ассистент профессора, Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: tahmina.66@mail.ru;

Мейрам Д.Д.- докторант, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: diana.meiram.19@mail.com;

Каржауова Э.К.- магистр, сеньор-лектор Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: karzhauova.81@mail.ru.

Information about the authors

Nurgaliyev N.U.- Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru;

Omarov K.B. -Doctor of Technical Sciences, Professor K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business Astana,

Kazakhstan, e-mail: homarov1963@mail.ru;

Smailova N.T. - Doctor of Technical Sciences, Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: ganibek2006@mail.ru;

Zhunussova E.B.- Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: tahmina.66@mail.ru;

Meiram D.D.- Doctoral Student, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: diana.meiram.19@mail.com;

Karzhauova E.K.- Master’s Degree Holder, Senior Lecturer, K. Kulazhanov, Kazakh University of Technology and Business,Astana, Kazakhstan, e-mail: karzhauova.81@mail.ru.

МРНТИ 65.55.33 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1377**

ВЛИЯНИЕ СМЕСЕЙ СПИРТОВЫХ ЭКСТРАКТОВ ЧЕСНОКА, КРАСНОГО ПЕРЦА, ПЕТРУШКИ И СЕЛЬДЕРЕЯ НА ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КУЛИНАРНЫХ ИЗДЕЛИЙ И БЛЮД

Г.Е. Жумалиева, У.Ч. Чоманов, Т.М. Жумалиева

Алматинский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Алматы, Казахстан

Корреспондент-автор: torgyn-zh@mail.ru

Настоящее исследование посвящено оценке влияния смесей спиртовых экстрактов чеснока (*Allium sativum L.*), красного перца (*Capsicum annuum L.*), петрушки (*Petroselinum crispum*) и сельдерея (*Apium graveolens*) на органолептические свойства мясных изделий - мясных пирогов и тефтелей. Основной целью работы было определить оптимальное сочетание компонентов, обеспечивающее гармоничный вкус, аромат, цвет и консистенцию готовых продуктов.

Экстракты получали методом циклической экстракции в аппарате Сокслета с применением этилового спирта, после чего их концентрировали до требуемой массовой доли сухих веществ. Органолептическая оценка проводилась по стандартам ГОСТ 8756.1–2017, ГОСТ ISO 6658–2016 и ГОСТ 9959–2015, с использованием пятибалльной шкалы для оценки основных сенсорных показателей. В исследованиях были задействованы четыре смеси экстрактов с разными пропорциями компонентов, а для мясных изделий применялись дозировки 0,3 %, 0,5 % и 0,7 % от массы фарша.

Результаты показали, что состав смеси оказывает значительное влияние на сенсорные характеристики продуктов. Смесь №4 (чеснок 30 %, красный перец 25 %, петрушка 25 %, сельдерей 20 %) продемонстрировала наивысшие показатели по вкусу, запаху, цвету и консистенции. Оптимальная дозировка экстрактов составила 0,5 % от массы фарша, обеспечивая наиболее гармоничные органолептические свойства.

Таким образом, применение выбранной смеси экстрактов пряных трав позволяет повысить качество мясных кулинарных изделий, улучшить их потребительские характеристики и может быть рекомендовано для промышленного производства. Данные результаты подтверждают практическую ценность растительных экстрактов как натуральных функциональных ингредиентов.

Ключевые слова: спиртовые экстракты, чеснок, красный перец, петрушка, сельдерей, органолептическая оценка, мясные пироги, тефтели, смеси экстрактов.

САРЫМСАҚ, ҚЫЗЫЛ БҰРЫШ, АҚЖЕЛКЕН МЕН БАЛДЫРКӨК АЛКОГОЛЬ СЫҒЫНДЫЛАРЫНЫҢ ҚОСПАЛАРЫНЫҢ АСПАЗДЫҚ ӨНІМДЕР МЕН ТАҒАМДАРДЫҢ ОРГАНОЛЕПТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ

Г.Е. Жумалиева, У.Ч. Чоманов, Т.М. Жумалиева

«Қазақ өңдеу және тамақ өнеркәсібін зерттеу ғылыми-зерттеу институтының» ЖШС Алматы филиалы, Алматы, Қазақстан,
e-mail: torgyn-zh@mail.ru

Бұл зерттеу сарымсақ (*Allium sativum L.*), қызыл бұрыш (*Capsicum annuum L.*), ақжелкен (*Petroselinum crispum*) және балдыркөк (*Apium graveolens*) спирт сығындыларының ет өнімдері - ет пирогтары мен котлеттер - органолептикалық қасиеттеріне әсерін бағалауға арналған. Негізгі мақсат - компоненттердің үйлесімді дәмі, иісі, түсі және консистенциясын қамтамасыз ететін оңтайлы құрамды анықтау.

Экстрактар Сокслет аппараты арқылы цикликалық экстракция әдісімен алынған, этил спиртін пайдалану арқылы концентрленген. Органолептикалық бағалау ГОСТ 8756.1-2017, ГОСТ ISO 6658-2016 және ГОСТ 9959-2015 стандарттарына сәйкес, негізгі сенсорлық көрсеткіштерді бағалау үшін

5 балдық шкала қолданылды. Төрт түрлі компоненттік пропорциялары бар экстракт араластырмалары зерттелді, ет өнімдеріне 0,3 %, 0,5 % және 0,7 % қосымшалар қолданылды.

Нәтижелер көрсеткендей, аралас құрам өнімдердің сенсорлық қасиеттеріне маңызды әсер етеді. № 4 аралас құрам (сарымсақ 30 %, қызыл бұрыш 25 %, ақжелкен 25 %, балдыркөк 20 %) ең жоғары дәм, иіс, түс және консистенция көрсеткіштерін көрсетті. Оптималды дозировка 0,5 % болды.

Осылайша, таңдаулы экстракт араласын қолдану ет өнімдерінің сапасын арттыруға және өнеркәсіптік өндіріс үшін ұсынуға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: спирт сығындылары, сарымсақ, қызыл бұрыш, ақжелкен, балдыркөк, органолептикалық бағалау, ет пирогтары, котлеттер, аралас экстракттар.

EFFECT OF MIXTURES OF ALCOHOLIC EXTRACTS OF GARLIC, RED PEPPER, PARSLEY, AND CELERY ON THE ORGANOLEPTIC PROPERTIES OF CULINARY PRODUCTS AND DISHES

G.E. Zhumaliyeva, U.Ch. Chomanov, T.M. Zhumaliyeva✉

Branch of "Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry" LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail: torgyn-zh@mail.ru

This study aimed to evaluate the effects of mixtures of alcoholic extracts of garlic (*Allium sativum L.*), red pepper (*Capsicum annuum L.*), parsley (*Petroselinum crispum*), and celery (*Apium graveolens*) on the organoleptic properties of meat products - meat pies and meatballs. The main goal was to determine the optimal combination of components that ensures harmonious taste, aroma, color, and texture of the finished products.

The extracts were obtained using Soxhlet cyclic extraction with ethanol, followed by concentration to the required dry matter content. Organoleptic evaluation was conducted according to GOST 8756.1–2017, GOST ISO 6658–2016, and GOST 9959–2015 standards, using a five-point scale. Four extract mixtures with different component ratios were studied, and dosages of 0.3 %, 0.5 %, and 0.7 % of the meat mass were applied.

Results showed that the composition significantly affects the sensory characteristics. Mixture №4 (garlic 30 %, red pepper 25 %, parsley 25 %, celery 20 %) showed the highest scores in taste, aroma, color, and texture. The optimal extract dosage was 0.5 %, providing the most balanced organoleptic properties.

The use of the selected herbal extract mixture improves the quality of meat culinary products and is recommended for industrial production.

Keywords: alcoholic extracts; garlic, red pepper, parsley, celery, organoleptic evaluation, meat pies, meatballs, extract mixtures.

Введение. Современная пищевая промышленность сталкивается с задачей повышения качества мясных продуктов при одновременном сокращении использования синтетических добавок. В последние годы усиливается интерес к растительным экстрактам как натуральным функциональным ингредиентам, которые обладают антиоксидантными, антимикробными и сенсорными свойствами. Применение растительных экстрактов в лсоставе пищевых продуктов подавляет процесс окисления жиров в их составе, что способствует удлинению срока годности и повышению качественных показателей конечной продукции [1].

Согласно данным ряда ученых экстракты растительного происхождения богатые полифенолами показали положительную динамику при замене синтетических консервантов в составе мясных продуктов. Это в свою очередь позволяет снизить применение ряда добавок как нитрита натрия, метабисульфит натрия, сорбат калия, бензоат натрия, бутилированный гидрокситолуол и т.д. в продуктах массового потребления. Фенольные молекулы в составе экс-

трактов чеснока (*Allium sativum L.*), зеленого чая (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze), розмарина (*Rosmarinus officinalis* L.) и другого растительного сырья показали выраженную антиоксидантную и антимикробную активность [2,3].

По подтвержденным данным ряда ученых экстракты и эфирных масел пряных трав обладают антимикробным эффектом по отношению *Escherichia coli, Salmonella typhimurium, Listeria monocytogenes, Bacillus cereus* и *Staphylococcus aureus*. Более того результаты комбинированных исследовании *in vitro* и исследований в составе пищевой продукции доказали, что применение экстрактов пряных трав повышает их качественные показатели [4,5].

Проведенные исследования Szymandera-Buszka и другими с целью выявления влияния спиртовых экстрактов вкусо-ароматических растений, как, розмарин (*Rosmarinus officinalis* L.), майоран (*Origanum majorana* L.), базилик (*Ocimum basilicum* L.), тмин (*Thymus vulgaris* L.), орегано (*Origanum vulgare* L.) и любистка (*Levisticum officinale*) на сенсорометрические показатели митболлов из свинины, гамбургеров и бульона. По итогам потребительской оценки (n=276) наивысшие оценки сенсометрического профиля получены при добавлении экстракта любистка (0,05%), наименьшие при применении тмина и розмарина ввиду выраженного острого вкуса растении [6].

Как показывает анализ опубликованных исследований по данному направлению несмотря на обширные данные по применению отдельных видов растительных экстрактов, данные по влиянию смесей экстрактов нескольких растений на вкусовые и сенсорометрические показатели готовых продуктов недостаточны или представлены в ограниченном объеме [7,8].

Соответственно обзору аналогичных и близких по направлению исследодований можно сделать вывод, что несмотря на отдельные исследования применения спиртовых и иных видов экстрактов пряных трав в составе мясных кулинарных изделий и блюд, отсутствуют исследование по определению оптимальных пропорции в составе смесей экстрактов. Данное направление является актуальным ввиду роста интереса потребителей по отношению функциональным и натуральным продуктам.

Целью представленной работы является определение влияние смесей спиртовых экстрактов, чеснока, красного перца, петрушки и сельдерея на органолептические показатели мясных кулинарных блюд и изделий.

Материалы и методы. *Объекты исследования:*

- смеси экстрактов с разными концентрациями экстрактов чеснока (*Allium sativum* L.), красного перца (*Capsicum annuum L.*), петрушки (*Petroselinum crispum*) и сельдерея (*Apium graveolens*). Состав смесей приведен в таблице 1.

- мясные пироги и тефтели, изготовленные с добавлением оптимальной смеси экстрактов пряных трав.

Чеснок, петрушка, сельдерей, красный перец, жилованная говядина, лук и вспомогательные ингредиенты были приобретены в сети супермаркетов «Магнум».

Таблица 1 - Состав опытных образцов смесей экстрактов

Наименование сырья	Смесь 1	Смесь 2	Смесь 3	Смесь 4
Чеснок, %	50	25	20	30
Красный перец, %	20	50	20	25
Петрушка, %	15	15	30	25
Сельдерей, %	15	10	30	20

Экстракты пряных трав: чеснока (*Allium sativum* L.), красного перца (*Capsicum annuum L.*), петрушки (*Petroselinum crispum*) и сельдерея (*Apium graveolens*) получали методом циклической экстракции в аппарате Сокслета (Рисунок 1). Подготовка растительного сырья включала приёмку, сортировку, мойку, сушку, а также двухэтапное измельчение.

Экстрагирование проводили этиловым спиртом. Полученные экстракты фильтровали, после чего концентрировали при пониженном давлении до достижения заданной массовой доли сухих веществ. Экстракты хранили в герметичной таре при температуре 4-6 °С до дальнейшего использования.

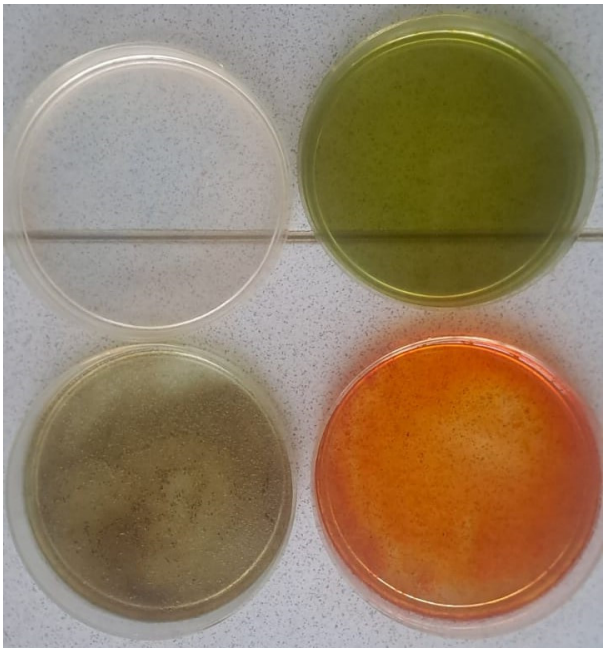


Рис.1 - Экстракты чеснока, петрушки, сельдерея, красного перца (слева направо)

Органолептическую оценку экстрактов проводили заранее обученными 30 сотрудниками ТОО «КазНИИ перерабатывающей и пищевой промышленности», возраст дегустаторов варьировался от 21 до 58 лет (15 мужчин и 15 женщин). в соответствии с ГОСТ 8756.1–2017 [9] с учётом требований ГОСТ ISO 6658–2016 [10]. Оценивали внешний вид, цвет, запах и вкус экстрактов.

Мясные пироги и тефтели готовились согласно ГОСТ 32951-2014 [11] и ГОСТ 32589-20137 [12]. Мякоть говядины, специи и вспомогательные ингредиенты были приобретены в сети супермаркетов «Магнум» (Республика Казахстан, город Алматы).

Органолептическую оценку кулинарных изделий (мясные пироги) и блюд (тефтели) проводили по 5-ти бальной шкале согласно требованиям, ГОСТ 9959–2015 [13].

Обсуждение и результаты. *Органолептический анализ смесей экстрактов.* Органолептические показатели являются одним из решающих факторов при выборе пищевой продукции потребителями. В свою очередь пряные травы и их экстракты широко используются в пищевой промышленности благодаря способности улучшать вкус, аромат и консистенцию продуктов, а также повышать их пищевую и функциональную ценность. В связи с изложенным были изучены органолептические показатели смесей экстрактов пряных трав согласно пропорциям, представленных в таблице 1 до этапа добавления в состав мясных продуктов.

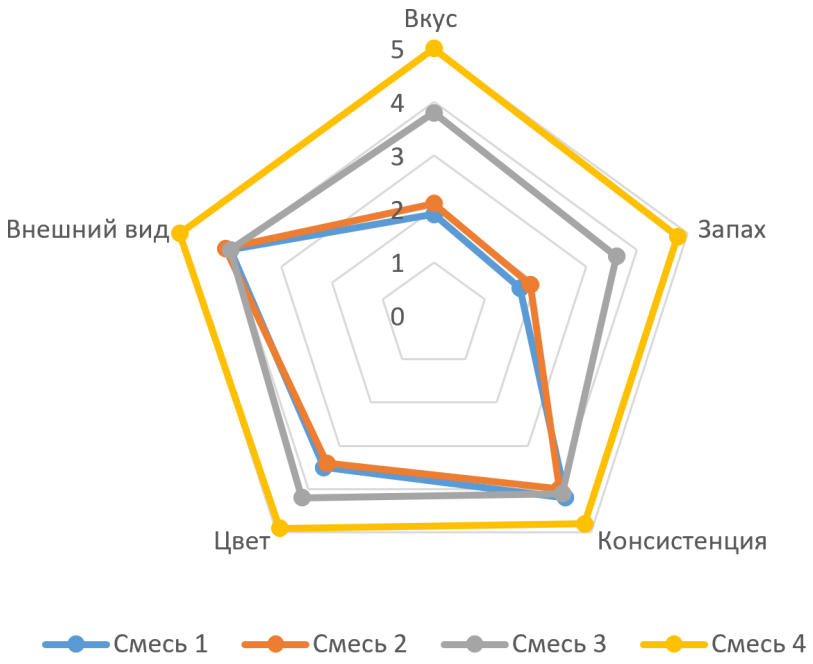


Рис.2 - Органолептическая оценка смесей экстрактов

Согласно результатам органолептической оценки, наиболее сбалансированным по сенсометрическому профилю, был признан образец смеси 4 с содержанием чеснока 30%, красного перца 25%, петрушки 25% и сельдерея 25%. Средняя оценка тридцати членов дегустационной комиссии варьировало от 4,8 для консистенции и до 5,0 для вкуса смеси экстрактов.

Образец смеси 1 и 2 получили наименьшие баллы органолептической оценки ввиду выраженного острого вкуса и специфичного запаха чеснока и красного перца и рисунку 2

Определение дозировки смеси экстрактов пряных трав в составе мясных пирогов и тефтелей. Следующим этапом исследований было определение дозировки оптимального варианта смеси №4 в составе мясных пирогов и тефтелей. С целью оптимизации дозировки проводили исследование трёх дозировок внесения экстрактов: 0,3 %, 0,5 % и 0,7 % от массы фарша. Мясные пироги и тефтели готовили в соответствии с требованиями (Таблицы 2-3):

- ГОСТ 32951-2014 Полуфабрикаты мясные и мясосодержащие. Общие технические условия (для тефтелей и аналогичных изделий) [11];

- ГОСТ 32589-2013 Продукты кулинарные из мяса птицы. Общие технические условия (для мясных пирогов) [12].

Таблица 2 - Рецептуры мясных пирогов с добавлением смеси экстрактов пряных трав, кг (на 100 кг несолёного сырья)

Наименование сырья	Базовая рецептура	С добавлением 0,3 %	С добавлением 0,5 %	С добавлением 0,7 %
Начинка				
Говядина жилованная	150,0	150,0	150,0	150,0
Лук репчатый	20,0	20,0	20,0	20,0
Смесь экстрактов пряных трав	–	0,3	0,5	0,7

Соль пищевая	1,0	1,0	1,0	1,0
Специи	по вкусу	по вкусу	по вкусу	по вкусу
Вода / молоко	20,0	19,7	19,5	19,3
Тесто				
Мука пшеничная в/с	64,0	64,0	64,0	64,0
Сахар	4,6	4,6	4,6	4,6
Масло растительное / маргарин	6,9	6,9	6,9	6,9
Меланж / яйцо куриное	6,9	6,9	6,9	6,9
Соль поваренная	0,8	0,8	0,8	0,8
Дрожжи прессованные	2,3	2,3	2,3	2,3
Вода	17,0	17,0	17,0	17,0
Примечание. При внесении экстрактов в жидкой форме их количество компенсируется за счёт снижения доли воды в рецептуре соуса, чтобы сохранить стабильность влагосодержания и консистенции.				

Таблица 3 - Рецептура тефтелей с добавлением смеси экстрактов пряных трав, кг (на 100 кг несолёного сырья)

Наименование сырья	**Базовая рецептура**	**С добавлением 0,3 %**	**С добавлением 0,5 %**	**С добавлением 0,7 %**
Фарш				
Говядина жилованная	100,0	100,0	100,0	100,0
Лук репчатый	15,0	15,0	15,0	15,0
Хлеб пшеничный	10,0	10,0	10,0	10,0
Молоко*	10,0	9,7	9,5	9,3
Яйцо куриное	1,0	1,0	1,0	1,0
Смесь экстрактов пряных трав	–	0,3	0,5	0,7
Соль, специи	по вкусу	по вкусу	по вкусу	по вкусу
Соус для тушения				
Вода	20,0	19,5	19,3	19,0
Томатная паста	5,0	5,0	5,0	5,0
Лук репчатый (пассерованный)	5,0	5,0	5,0	5,0

Масло растительное	2,0	2,0	2,0	2,0
Соль, специи, лавровый лист	по вкусу	по вкусу	по вкусу	по вкусу
Примечание. При внесении экстрактов в жидкой форме количество влаги в начинке уменьшено пропорционально их массе, что обеспечивает стабильную консистенцию и влагосодержание готового изделия.				

По итогам исследования разработана технология приготовления тефтелей и мясных пирогов с добавлением экстрактов пряных трав (чеснок, красный перец, петрушка, сельдерей) в количестве экстрактов 0,3–0,7 % от массы фарша.

Выработанные образцы мясных пирогов и тефтелей подверглись органолептической оценке по ГОСТ 9959–2015 «Мясо и мясные продукты. Методы органолептической оценки» [13]. Оценка проводилась 12 сотрудниками ТОО «КазНИИ перерабатывающей и пищевой промышленности» по пятибалльной шкале (Таблица 4, Рисунок 3).

Таблица 4 - Органолептическая оценка мясных пирогов и тефтелей с добавлением смеси экстрактов (по ГОСТ 9959–2015)

Показатель	**Контрольный образец**	**С добавлением 0,3 %**	**С добавлением 0,5 %**	**С добавлением 0,7 %**
Внешний вид	4,5	4,6	4,8	4,4
Цвет на разрезе	4,4	4,5	4,7	4,3
Запах	4,3	4,6	4,9	4,5
Вкус	4,2	4,5	4,8	4,4
Консистенция	4,5	4,6	4,8	4,5
Средний балл	4,38	4,56	4,80	4,42



Рис.3 - Образцы мясных пирогов и тефтелей с добавлением смеси экстрактов

Анализ органолептической оценки приведен на Рисунке 4.

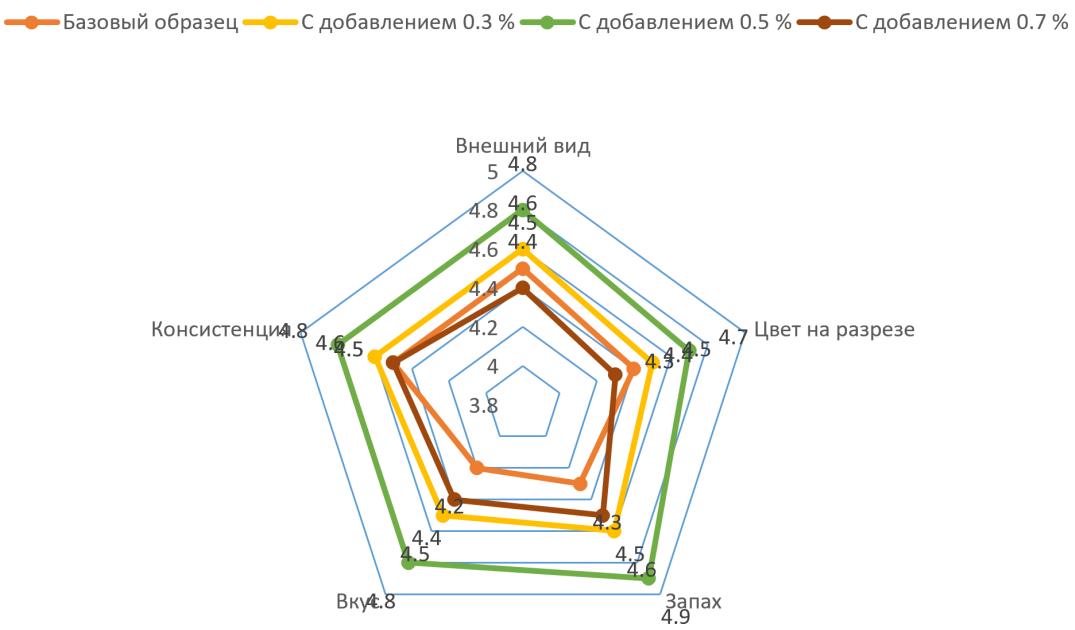


Рис.4 - Результаты органолептической оценки тефтелей и мясных пирогов с добавлением экстрактов пряных трав

По результатам сенсорного анализа наилучшие показатели продемонстрировал Образец с добавлением 0,5 % смеси экстрактов, получивший максимальный средний балл (4,80). Данная концентрация смеси экстрактов позволило наиболее сбалансированный вкус, запах и оптимальная консистенция сиротствующего виду изделия. При концентрации ниже (0,3%) вкус специи был недостаточно выражен, при концентрации смеси 0,7% отмечалось преобладание интенсивного вкуса пряных трав в готовых изделиях.

Соответственно анализу полученных экспериментальных данных можно заключить, что применение экстрактов пряных трав в составе готовых мясных блюд повышает их вкусовые качества и потребительскую привлекательность, что свидетельствует о перспективности их применения в пищевой промышленности.

Результаты проведённых исследований показывают, что применение смесей экстрактов пряных трав оказывает выраженное влияние на органолептические характеристики мясных изделий и позволяет более точно управлять их вкусо-ароматическим профилем. Это подтверждает данные, представленные в работах [6], где отмечено, что чрезмерная интенсивность отдельных растительных экстрактов может снижать потребительскую оценку продукта.

В ранее опубликованных исследованиях основное внимание уделялось использованию отдельных экстрактов пряных растений. Однако полученные в настоящей работе результаты свидетельствуют о том, что комбинирование экстрактов чеснока, красного перца, петрушки и сельдерея позволяет смягчить избыточную остроту и резкость вкуса отдельных компонентов. В результате формируется более гармоничный и сбалансированный сенсометрический профиль готовых изделий.

Экспериментально мы получили, что смесь № 4 (30 % чеснока, 25 % красного перца, 25 % петрушки, 20 % сельдерея) показала наилучшие органолептические показатели. Данные полученные Shahidi & Ambigaipalan [7] показывают, что фенольные соединения в растениях могут усиливать вкусовые и ароматические свойства продуктов, что частично объясняет наблюдаемый эффект синергии между компонентами смеси.

При изучении дозировки оптимальной смеси экстрактов в составе мясных пирогов и тефтелей установлено, что наилучшие сенсорные характе-

ристики достигаются при концентрации 0,5 % от массы фарша. При меньшей дозировке (0,3 %) вкус и аромат пряных трав воспринимались как недостаточно выраженные, тогда как увеличение концентрации до 0,7 % приводило к доминированию пряного вкуса и снижению общей органолептической оценки изделий.

Таким образом, полученные данные подтверждают, что использование смесей спиртовых экстрактов пряных трав является эффективным технологическим приёмом для улучшения вкусовых и ароматических свойств мясных изделий. Применение оптимально подобранных композиций позволяет повысить потребительскую привлекательность продукции и расширяет возможности разработки мясных изделий с улучшенными сенсорными характеристиками без использования синтетических добавок.

Выводы. Были проведены исследования органолептической оценки, как основного фактора при потребительском выборе готовых изделий. Исследованы органолептические показатели различных пропорции смесей экстрактов чеснока, красного перца, сельдерея, петрушки, и готовых мясных изделий с концентрацией смеси экстрактов 0,3-0,7%. Согласно результатам анализов, оптимальным и наиболее была признана смесь №4 с содержанием чеснока 30%, красного перца 25%, петрушки 25% и сельдерея 25%.

Результаты исследовании подтвердили положительное влияние смесей экстрактов на органолептические характеристики мясных пирогов и тефтелей при концентрации 0,5% от массы фарша. Данные результаты подтверждают возможность создания гармоничных комбинаций растительных компонентов для улучшения сенсорных качеств мясных изделий.

Финансирование. *Данные исследования выполнялись в рамках проекта «Технология производства порошков и экстрактов из пряных трав для кулинарных изделий и блюд», программы ПЦФ МНВО РК на 2024-2026 годы «Разработка технологии приготовления полезных продуктов питания для ежедневного рациона, обогащенных природными антиоксидантами и биологически активными веществами» ИРН BR24993031.*

Литература

1. Munekata P.E.S., Rocchetti G., Pateiro M., et al. Addition of Plant Extracts to Meat and Meat Products to Extend Shelf-Life and Health-Promoting Attributes: An Overview // Current Opinion in Food Science. -2020. -Vol.31. -P.81-87. DOI 10.1016/j.cofs.2020.03.003.

2. Beya M.M., Netzel M. E., Sultanbawa Y., Smyth H., Hoffman L. C. Plant-based Phenolic Molecules as Natural Preservatives in Comminuted Meats: A Review // Antioxidants. -2021. -Vol.10(2): 263. DOI 10.3390/antiox10020263.

3. Bar M., Binduga U.E., Szychowski K.A. Methods of Isolation of Active Substances from Garlic (Allium Sativum l.) and its Impact on The Composition and Biological Properties of Garlic Extracts // Antioxidants. -2022. -Vol.11(7). -P.1199-1218. DOI 10.3390/antiox11071345.

4. Tajkarimi M.M., Ibrahim S.A., Cliver D.O. Antimicrobial herb and spice compounds in food //Food Control. -2010. -Vol.21 (9). –P. 1199–1218. DOI 10.1016/j.foodcont.2010.02.003.

5. Cox S., Abu-Ghannam N., Gupta S. Effect of processing conditions on phytochemical constituents of edible Irish seaweed Himanthalia elongata // Journal of Food Processing and Preservation. -2012. -Vol.36 (4). -P. 348–363. DOI 10.1111/j.1745-4549.2011.00563.x.

6. Szymandera-Buszka K., Waszkowiak K., Jędrusek-Golińska A., Hęś M. Sensory Analysis in Assessing the Possibility of Using Ethanol Extracts of Spices to Develop New Meat Products // Foods. -2020. -Vol.9 (2):209. DOI 10.3390/foods9020209.

7. Shahidi F., Ambigaipalan P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant

activity and health effects-A review // Journal of Functional Foods. -2015. -Vol.18(Part B). -P.820–897. DOI 10.1016/j.jff.2015.06.018.

8. Nieto G., Ros G., Castillo J. Antioxidant and antimicrobial properties of rosemary (Rosmarinus officinalis, L.): a review // Medicines. -2018. -Vol.5 (3): 98. DOI 10.3390/medicines5030098.

9. ГОСТ 8756.1-2017. Продукты переработки фруктов, овощей и грибов. Методы определения органолептических показателей, массовой доли составных частей, массы нетто или объема/М.: Стандартинформ. -2017. -12 с.

10. ГОСТ ISO 6658-2016. Органолептический анализ. Методология. Общее руководство/М.: Стандартинформ. -2016. -12 с.

11. ГОСТ 32951-2014. Полуфабрикаты мясные и мясосодержащие. Общие технические условия/М.: Стандартинформ. -2014. -16 с.

12. ГОСТ 32589-2013. Продукты кулинарные из мяса птицы. Общие технические условия/М.: Стандартинформ. -2013. -12 с.

13. ГОСТ 9959-2015. Мясо и мясные продукты. Общие условия проведения органолептической оценки /М.: Стандартинформ. -2016. -19 с.

References

1. Munekata P.E.S., Rocchetti G., Pateiro M., et al. Addition of Plant Extracts to Meat and Meat Products to Extend Shelf-Life and Health-Promoting Attributes: An Overview // Current Opinion in Food Science. -2020. -Vol.31. -P.81-87. DOI 10.1016/j.cofs.2020.03.003.

2. Beya M.M., Netzel M. E., Sultanbawa Y., Smyth H., Hoffman L. C. Plant-based Phenolic Molecules as Natural Preservatives in Comminuted Meats: A Review // Antioxidants. -2021. -Vol.10(2): 263.DOI 10.3390/antiox10020263.

3. Bar M., Binduga U.E., Szychowski K.A. Methods of Isolation of Active Substances from Garlic (Allium Sativum l.) and its Impact on The Composition and Biological Properties of Garlic Extracts // Antioxidants. -2022. -Vol.11(7). -P.1199-1218. DOI 10.3390/antiox11071345.

4. Tajkarimi M.M., Ibrahim S.A., Cliver D.O. Antimicrobial herb and spice compounds in food //Food Control. -2010. -Vol.21 (9). –P. 1199–1218. DOI 10.1016/j.foodcont.2010.02.003.

5. Cox S., Abu-Ghannam N., Gupta S. Effect of processing conditions on phytochemical constituents of edible Irish seaweed Himanthalia elongata // Journal of Food Processing and Preservation. -2012. -Vol.36 (4). -P. 348–363. DOI 10.1111/j.1745-4549.2011.00563. x.

6. Szymandera-Buszka K., Waszkowiak K., Jędrusek-Golińska A., Hęś M. Sensory Analysis in Assessing the Possibility of Using Ethanol Extracts of Spices to Develop New Meat Products // Foods. -2020. -Vol.9 (2):209. DOI 10.3390/foods9020209.

7. Shahidi F., Ambigaipalan P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects-A review // Journal of Functional Foods. -2015. -Vol.18(Part B). -P.820-897. DOI 10.1016/j.jff.2015.06.018.

8. Nieto G., Ros G., Castillo J. Antioxidant and antimicrobial properties of rosemary (Rosmarinus officinalis, L.): a review // Medicines. -2018. -Vol.5 (3): 98. DOI 10.3390/medicines5030098.

9. GOST 8756.1–2017. Produkty pererabotki fruktov, ovoshhej i gribov. Metody opredelenija organolepticheskih pokazatelej, massovoj doli sostavnyh chastej, massy netto ili ob#ema/M.: Standartinform. -2017. -12 c. [in Russian]

10. GOST ISO 6658-2016. Organolepticheskij analiz. Metodologija. Obshhee rukovodstvo/M.: Standartinform. -2016. -12 s. [in Russian]

11. GOST 32951-2014. Polufabrikaty mjasnye i mjasosoderzhashhie. Obshhie tehnicheskie uslovija/M.: Standartinform. -2014. -16 s. [in Russian]

12. GOST 32589-2013. Produkty kulinarnye iz mjasa pticy. Obshhie tehnicheskie uslovija/M.: Standartinform. -2013. -12 s. [in Russian]

13. GOST 9959-2015. Mjaso i mjasnye produkty. Obshhie uslovija provedenija organolepticheskoj ocenki /M.: Standartinform. -2016. -19 s. [in Russian]

Сведения об авторах

Жумалиева Г.Е.- кандидат технических наук, Алматинский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Алматы, Казахстан,
e-mail: guljan_7171@mail.ru;

Чоманов У. - доктор технических наук, Алматинский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Алматы, Казахстан, e-mail:chomanov_u@mail.ru;

Жумалиева Т.М. - Алматинский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Алматы, Казахстан, e-mail: torgyn-zh@mail.ru.

Information about the authors

Zhumaliyeva G. - Candidate of technical science, Almaty Branch of “Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry” LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail: guljan_7171@mail.ru;

Chomanov U. - Doctor of technical science, Almaty Branch of “Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry” LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail: chomanov_u@mail.ru;

Zhumaliyeva T. - Almaty Branch of “Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry” LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail: torgyn-zh@mail.ru.

ҒТАМР 65.59.29, 65.59.03 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1427**

АҚУЫЗДЫ-МАЙЛЫ ЭМУЛЬСИЯНЫҢ СИЫР ЕТІНЕН ЖАСАЛҒАН КОТЛЕТ ҮЛГІЛЕРІНІҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

[1]А.К. Игенбаев✉, [1]Р.Д. Абишева, [1]А.К. Мустафаева, [2,3]М.Б. Ребезов

[1]«С.Сейфуллин ат. Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан,
[2]В.М. Горбатов ат. Ресей Ғылым академиясының азық-түлік жүйелерінің федералды ғылыми орталығы, Мәскеу, Ресей,
[3]Орал мемлекеттік аграрлық университеті, Екатеринбург, Ресей

✉ *Корреспондент-автор: a.igenbayev@kazatu.edu.kz*

Бұл зерттеу жұмысының мақсаты әр түрлі ақуызды-майлы эмульсияның (АМЭ-2%, АМЭ-4%, АМЭ-6%, АМЭ-8%, АМЭ-10%) мөлшерін сиыр етінен жасалған котлеттердің үлгісіне қоса отырып, олардың май ұстағыш қабілеттерін (МҰҚ), pH және ылғал байланыстырғыш қабілеттері (ЫБҚ) мәндерінің өзгеру динамикасы зерттеу. Ет өнімдерінің өндірісінде ет шикізатының белгілі бір мөлшерін қоспалармен алмастыру ет өнімдерінің қасиеттерін жақсартуға арналған әдістердің және өндіріске экономикалық тиімді қадамдардың бірі деп санауға болады. Қазіргі нарықтық экономикалық жағдайда өндірісітің тиімділігін арттыруға жаңа, инновациялық технологиялар мен тың шешімдер қажет болғандығы мәлім. Бұл мақалада жылқы іш майы, сиыр басынан механикалық сылу арқылы алынған ет кесінділері, мұз қосылып жасалған ақуызды-майлы эмульсияның ет котлеттеріне АМЭ-2%, АМЭ-4%, АМЭ-6%, АМЭ-8%, АМЭ-10% мөлшерлері қосылып, дайын котлет турамаларының ЫБҚ, МҰҚ, pH мәні сияқты қасиеттері зерттелді. Зерттеу нәтижелері бойынша құрамына АМЭ-2%, АМЭ-4%, АМЭ-6%, АМЭ-8%, АМЭ-10% мөлшерлері қосылған сиыр етінен жасалған котлеттердің ЫБҚ-тері артқандығы, pH мәндерінің негізгі нормалардан аспағандығы негізделді. Құрамына АМЭ-2%, АМЭ-4%, АМЭ-6%, АМЭ-8%, АМЭ-10% мөлшерлері қосылған сиыр етінен жасалған котлеттердің басқа да зерттелмеген қасиеттері және сапалық көрсеткіштері келесі зерттеу мақалаларында жарық көруі мүмкін, сонымен қатар зерттеу нәтижелері ет өндірісі саласындағы мамандарға көмегін тигізуі мүмкін.

Түйін сөздер: ет котлеттері, ақуызды-майлы эмульсия, ылғал байланыстырғыш қабілеті, майды ұстау қабілеті.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БЕЛКОВО-ЖИРОВОЙ ЭМУЛЬСИИ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБРАЗЦОВ КОТЛЕТ ИЗ ГОВЯДИНЫ

[1]А.К. Игенбаев✉, [1]Р.Д. Абишева, [1]А.К. Мустафаева [2,3]М.Б. Ребезов

[1]НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», Астана, Казахстан,
[2]Федеральный научный центр продовольственных систем Российской академии наук им. В.М. Горбатова, Москва, Россия,
[3]Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия,
e-mail: a.igenbayev@kazatu.edu.kz

Целью данной исследовательской работы является изучение влияния различных белково-жировых эмульсий (БЖЭ-2%, БЖЭ-4%, БЖЭ-6%, БЖЭ-8%, БЖЭ-10%) на образцы говяжьих котлет, в том числе их жиро улавливающую способность (ЖУС), значение pH и влагосвязывающую способность (ВСС), а также динамику изменения указанных показателей. Замещение определённого количества мясного сырья функциональными добавками в производстве мясных продуктов можно рассматривать как один из эффективных методов улучшения их технологических и потребительских свойств, а также как экономически целесообразный подход к производству. Как известно, в современных рыночных условиях для повышения эффективности производства необходимы новые инновационные технологии и технические решения. В данной статье рассмотрены БЖЭ приготовленной с использованием жира конского, мясных обрезков с головы крупного рогатого скота

и льда. Также изучено влияние добавления АМЭ в концентрациях 2%, 4%, 6%, 8% и 10% на свойства мясных котлет. В ходе исследования были изучены такие показатели, как влагосвязывающая способность и значение pH. Результаты показали, что у говяжьих котлет с добавлением БЖЭ-2%, БЖЭ-4%, БЖЭ-6%, БЖЭ-8% и БЖЭ-10% значения pH не превышали установленных нормативных значений. Другие технологические и качественные показатели говяжьих котлет с добавлением указанных концентраций АМЭ будут рассмотрены в последующих научных публикациях. Полученные результаты могут быть полезны специалистам в области мясоперерабатывающей промышленности.

Ключевые слова: мясные котлеты, белково-жирная эмульсия, влагосодержащая способность, жиро улавливающую способность.

STUDY OF THE EFFECT OF PROTEIN-FAT EMULSION ON THE PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF BEEF CUTLETS SAMPLES

[1]A.K. Igenbayev✉, [1]R.D. Abisheva, [1]A.K. Mustafayeva [2,3]M.B. Rebezov

[1]"S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University", Astana, Kazakhstan,
[2]V.M. Gorbachev Federal Scientific Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,
[3]Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia,
e-mail: a.igenbayev@kazatu.edu.kz

The research is to study the effect of various protein-fat emulsions (PFE-2%, PFE -4%, PFE -6%, PFE -8%, PFE -10%) on beef patties, including their fat binding capacity (FBC), pH value, and moisture binding capacity (MBC), as well as the dynamics of changes in these indicators. Replacing a certain amount of meat raw materials with functional additives in the production of meat products can be considered one of the effective methods of improving their technological and consumer properties, as well as an economically feasible approach to production. As is well known, in modern market conditions, new innovative technologies and technical solutions are necessary to increase production efficiency. This article discusses for a protein emulsion prepared using horse belly fat, meat trimmings from cattle heads, and ice. The effect of adding PFE in concentrations of 2%, 4%, 6%, 8%, and 10% on the properties of meat cutlets was also studied. The study examined indicators such as moisture-binding capacity and pH value. The results showed that in beef cutlets with the addition of 2%, 4%, 6%, 8%, and 10% PFE, the pH values did not exceed the established regulatory values. Other technological and quality indicators of beef patties with the addition of the specified concentrations of AME will be considered in subsequent scientific publications. The results obtained may be useful to specialists in the meat processing industry.

Keywords: meat cutlets, protein-fat emulsion, moisture retention capacity, fat trapping capacity.

Кіріспе. Ет маңызды диеталық ақуыздардың көзі және әр түлі құнды тағамдық заттардың көзі болып табылады [1]. Ет құрамындағы май пісірілген шұжықтар, ет котлеттері сияқты ет өнімдерінің дәмін және текстурасын жақсартады. Ет құрамындағы майды шамадан тыс көп қолдану обыр ауруларының кейбір түрлеріне, қант диабетінің 2 типіне және жүрек-қан тамырлары ауруларының өсуі мен артық салмақтық дертетріне әкелуі айтылуда [2]. (Тұтынушылар төменгі калориялы, жақсы текстуралы және май құрамының төмен мөлшері бар ет өнімдерін тұтынуды дұрыс деп есептейді [3].Сондықтан ет өнімдеріне құрамында ПҚМҚ құрамы жоғары майлы шикізаттарды қосу өзекті болып табылады. Қарастырып отырған ақуызды-майлы эмульсия аталған талаптарға сай келеді және құрамындағы жылқының іш майы құрамында ПҚМҚ мөлшері басқа май шикізаттарымен салыстырғанда жоғары болып есептеледі.

Ет өнімдерінің технологиясында ақуыз-май эмульсияларын (АМЭ) қолдану жартылай ет фабрикаттарының ассортиментін едәуір кеңейтеді [4]. Эмульсиялық жүйелер қазіргі кезде азық-түлік өнідірісінде кеңінен қолданыс та-

уып келеді. Эмульсиялық жүйелер ет өнімдерінің тұрақты сапасы мен жоғары шығымдылығын қамтамасыз ететін ақуыз-май эмульсияларының жоғары функционалдық қасиеттері, олар ет өнімдерінің барлық дерлік топтарын өндіруде кеңінен қолданылады [5,6].

Ақуызды-майлы эмульсиялардың кез-келген мөлшері дайын ет котлеттерінің - жартылай фабрикаттарының физика-химиялық қасиеттеріне, соның ішінде pH мәндеріне, ылғал байланыстырғыш қабілеттеріне, май қышқылдық құрамына және т.б. қасиеттеріне оң әсер еткендігіне көз жеткізілген [7,8,9].

Авторлардың келесі жұмыстарында АМЭ қолдану кезінде жартылай ет фабрикаттарының тағамдық және биологиялық құндылықтарын, ақуыз бен май фракцияларының тұрақтылығын арттыратынын негіздеген [10,11].

Жұмыстың мақсаты – сиыр етінен жасалған ет котлеттері үлгілерінің физика-химиялық қасиеттеріне ақуызды-майлы эмульсияның әр түрлі мөлшерінің әсерін зерттеу. Мақсатқа жету үшін келесідей міндеттер орындалды: - текстурасы, консистенциясы оңтайлы болатын ақуызды-майлы эмульсия ингредиенттері таңдалды және мөлшерлері негізделді; - сиыр етінен жасалған котлеттердің үлгілеріне АМЭ-2%, АМЭ-4%, АМЭ-6%, АМЭ-8%, АМЭ-10% мөлшерлері қосылды және олардың физика-химиялық қасиеттері зерттелді.

Материалдар мен әдістер. Ақуызды-майлы эмульсия дайындау үшін өндірісте сойлыған жылқы іш майын (Ерейментау қаласы) алдын ала салқындатып (2-4°С, 8-12 сағат) диаметрі 3-5 мм еттурағышта (МИМ-600М, Ресей) ұсақталды. Сиыр басынан (Ерементау) қолмен сылу арқылы алынған ет кесінділерін диаметрі 3-5 мм еттурағышта ұсақталды және өңдеу алдында (2-4°С, 8-12 сағат) сақталды. Эмульсия массасы ФРЕ-А (Ресей) көлемі 50 литр болатын куттерде дайындалды.

МҰҚ (май ұстау қабілеті) анықтау термиялық өңдеу кезінде котлет турамаларынан бөлінетін майдың мөлшерін анықтауға, содан кейін центрифугалауға негізделген. Майды ұстау қабілеті сақталған майдың оның жалпы құрамына қатынасы ретінде пайызбен көрсетіледі. Котлетке арналған ет турамаларын майдалап біркелкі массаға дейін ұсақталып, 10 грамм мөлшерде центрифуга пробиркаларына салынды. Пробиркалар температурасы 70-75^{o}С су моншасында 15 минут ұсталды. Жылулық өңделген пробиркаларды центрифугада 3500 айн/мин, 10 мин центрифугалаймыз. Бөлініп алынған майды алдын ала өлшенген сүзгі қағазына ауыстырамыз және 0,01 г дәлдікпен өлшейміз. Алынған мәндерді (1) өрнекпен есептейміз.

$$МҰҚ = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 \qquad (1)$$

мұндағы: МҰҚ-май ұстау қабілеті, %

m_0 - өлшендідегі майдың массалық үлесі, г;

m_1 - бөлінген майдың массасы, г.

Грау-Хамма әдісі турамадағы ылғал байланыстыру қабілетін анықтауға арналған әдіс. Тураманың ылғал байланыстыру әдісін салмағы 1 кг болатын жүктемемен 0,3 г тураманы 10 минут уақытта престеумен орындалды. Ол үшін стандартты сүзгі қағазға 0,3 г тураманы орналастырып, үстінен пластикалық материалмен жауып, үстінен 1 кг жүктемені бастырамыз.10 минут өткен соң стандартты сүзгі бетінде қалған дақтың ауданын өлшеп, (2) формула бойынша есептейміз.

$$ЫҰҚ = (1 - \frac{S \times k}{m \times W}) \times 100 \qquad (2)$$

мұндағы: ЫҰҚ - ылғал байланыстыру қабілеті, %

S-ылғалды дақтың ауданы, см^2

k- қайта есептеу коэффициенті(стандартты сүзгі қағазы үшін 0,01г/см^2 қабылданады)

m_0 - өлшендімассасы, г;

W - үлгідегі ылғалдың массалық үлесі, %

Котлет турамаларының үлгілерінің (pH) потенциометр әдісімен анықталды. партативті МАРК-901 pH-метр (Ресей) қолданылды. Ет және ет өнімдерінің pH мәнін анықтау МЕМСТ 26929-86 бойынша анықталды. Турама үлгілері-

мен дайындалған ерітіндінің pH мәнін өлшемес бұрын арнайы стандартты (үшнүктелі калибровкілеу, яғни, pH 4,1; pH 7,00; pH9,21) ертініділер көмегімен калибрлеу жүргізілді. Ол үшін әр ортаға калибрлеу жүргізу үшін электродты дистилленген сумен шайып, кептіріп, әр ерітіндінің мәндерін енгізе отырып жасалды. Ерітіндінің pH мәні pH-метрдің екі электродын ертінді құйылған колбаларға батырылып, автоматты мәндерді алынды.

Барлық зерттеулер кемінде 5 рет қайталанып жүргізіп, алынған зерттеу нәтижелерінің мәндерін орташа ауытқулар мен қателіктерді есептеу арқылы жүргізілді.

Нәтижелер мен талқылаулар. Ет котлеттеріне арналған ақуызды-майлы эмульсия рецептурасы төмендегі 1-ші кестедегі берілген. АМЭ дайындау үрдісі келесідей кезектілікпен іске асырылды: сиыр басынан қолмен сылу арқылы алынған ет кесінділері, стабилизатор, натрий аскорбаты, фосфат (Е450і) біртіндеп үстіне мұзды судың 50%-ын қоса отырып, біртекті массалы консистенция пайда болғанша куттерленді. Екінші этапта жылқы іш майын куттерге жүктеп, қалған мұзды судың 50%-ын қосып, куттерленді. Біркелкі консистенция түзілгенше тағы да 4-5 мин куттерленді. Алынған массаның орташа температурасы 12-13^{o}С-тан аспағандығын термомтердің (Tianlong, Қытай) көмегімен өлшеніп, қадағаланып отырылды.

1 - кесте. Ақуызды-майлы эмульсия құрамы

№	**Шикізаттар**	**Мөлшері, %**
1	Жылқы іш майы	36
2	Сиыр басынан қолмен сылу арқылы алынған ет кесінділері	26
3	Мұзды су	36
4	Тұз	1,5
5	Стабилизатор-Каррагинан	0,15
6	Натрий аскорбаты	0,05
7	Фосфат (Е450і)	0,3

1-ші кестеде көрсетілген рецептура бойынша алынған АМЭ консистенциясы паста тәрізді, текстурасы біркелкі, түсі ақшыл сұр, артық май және судың бөлінуібайқалмайтын көрініс болды.

АМЭ-2%, АМЭ-4%, АМЭ-6%, АМЭ-8%, АМЭ-10% эмульсиялардың сиыр етінен жасалған ет котлетінің үлгілері төмендегі 2-ші кестеде көрсетілген.

2 - кесте. Ақуызды-майлы эмульсия мөлшерлері қосылған сиыр етінен жасалған ет котлетінің үлгілері

№	**Ингредиенттер**	**Үлгілер, %**					
		Бақылау	**АМЭ-2**	**АМЭ-4**	**АМЭ-6**	**АМЭ-8**	**АМЭ-10**
1	Сиыр еті	65	64	63	62	61	60
2	Шошқа май шикізаты	10	9	8	7	6	5
3	Ұсақталған пияз	5	5	5	5	5	5

4	Бидай наны	5	5	5	5	5	5
5	Су	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9
7	Тағамдық ас тұзы	3	3	3	3	3	3
8	Қара бұрыш	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
9	Беттік кептірілген нан	1	1	1	1	1	1
10	Ақуызды-майлы эмульсия	0	2	4	6	8	10
Барлығы:		**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**

Төмендегі 3-ші кестеде ақуызды-майлы эмульсия мөлшерлері қосылған сиыр етінен жасалған ет котлетінің үлгілерінің МҰҚ мәндерінің өзгеру динамикасы көрсетілген.

3 - кесте. Ақуызды-майлы эмульсия мөлшерлері қосылған сиыр етінен жасалған ет котлетінің МҰҚ мәндерінің өзгеру динамикасы

№	Көрсеткіштері	Үлгілер, %					
		Бақылау	**АМЭ-2**	**АМЭ-4**	**АМЭ-6**	**АМЭ-8**	**АМЭ-10**
1	МҰҚ, %	77,6±0,41	78,1±0,5	78,6±0,35	79,5±0,37	81,8±0,45	83,7±0,31

АМЭ мөлшері котлет үлгілерінеде артқан сайын МҰҚ арта бергендігін көруге болады. Котлет үлгілеріндегі АМЭ-дағы ақуыздық фракция майды өзіне жақсы байланыстыруымен түсіндіруге болады.

АМЭ мөлшерін 2-10% аралығында қоса отырып, сиыр етінен жасалған ет котлетінің pH мәнінің өзгеру динамикасы зерттелді. Зерттеу нәтижелері төмендегі 4-ші кестеде көрсетілген.

4 - кесте. Ақуызды-майлы эмульсия мөлшерлері қосылған сиыр етінен жасалған ет котлетінің pH мәндерінің өзгеру динамикасы

№	Көрсеткіштері	Үлгілер, %					
		Бақылау	**АМЭ-2**	**АМЭ-4**	**АМЭ-6**	**АМЭ-8**	**АМЭ-10**
1	pH мәні	5,82±0,04	5,91±0,02	6,22±0,04	6,39±0,05	6,57±0,01	6,61±0,05
2	Ылғал байланыстырушы қабілеті, %	68,73±0,04	69,22±0,03	71,49±0,05	71,84±0,02	72,27±0,05	72,91±0,01

** ескерту: зерттеу 5 рет қайталанып жүргізілді, n=5*

4-ші кесте зерттеу нәтижелерінен алынған мәндер бойынша сараптаманы сипаттасақ, АМЭ мөлшері артқан сайын pH мәні сілтілік ортаға өзгергенін көруге болады. Бұл pH мәнінің өзгеру динамикасын АМЭ құрамындағы ингредиенттердің жекелеген қасиеттерін негізге алуға болады және алынған мәліметтер келесі авторлардың [12] жұмыстарында да көрініс тапқанын атап өткен жөн.

Кестеден көріп отырғанымыздай, АМЭ 2;4;6;8;10; мөлшері артқан сайын, ЫБҚ-тері ар-

та береді. Яғни, АМЭ құрамындағы компоненттердің ылғалдың байланысуына оң әсер ететіндігі заңылық, себебі, АМЭ мен ет котлеттерінің арасындағы ылғалдың арақатынасына оңтайлы мөлшерлер болуы мүмкін. АМЭ мөлшерін одан да арттыруға ЫБҚ оң әсері байқалуы мүмкін, бірақ ылғалдың байланысу шамасы біртіндеп төмендеуі заңдылық. Басқа да ғалымдардың жұмыстарына сүйенсек ЫБҚ белгілі бір мөлшерде ғана байланысады да, артық мөлшері теріс әсер ететіндігіне көз жеткізілген [13,14].

Қорытынды. Жұмыстың мақсатына сай әр түрлі ақуызды-майлы эмульсияның (АМЭ-2%, АМЭ-4%, АМЭ-6%, АМЭ-8%, АМЭ-10%) мөлшерін сиыр етінен жасалған котлеттердің үлгісіне қоса отырып, олардың май ұстағыш қабілеттерін (МҰҚ), pH және ылғал байланыстырғыш қабілеттері (ЫБҚ) мәндерінің өзгеру динамикасы зерттелді. Зерттеу әдістеріне сәйкес АМЭ сиыр етінен жасалған котлеттердің МҰҚ, pH және ЫБҚ оң әсер еткендігін көруге болады. Зерттеліп отырған үлгілердегі АМЭ-ның мөлшерлеріндегі шамасы бақылау үлгісі котлетінен көрсеткіштері артық болды. Бұл котлет өндірісінде ет шикізатының белгілі бір мөлшерін қоспалармен алмастыру ет өнімдерінің қасиеттерін жақсартуға арналған әдістердің және өндіріске экономикалық тиімді қадамдардың бірі деп санауға болады. Қазіргі нарықтық экономикалық жағдайда өндірісітің тиімділігін арттыруға жаңа, инновациялық технологиялар мен тың шешімдер қажет болғандығы мәлім. Зерттеу нәтижелері ет өндірісі салалсындағы мамандарға көмегін тигізуі мүмкін.

Әдебиеттер

1. He J., Liu, H., Balamurugan S., Shao S. Fatty acids and volatile flavor compounds in commercial plant-based burgers //Journal of Food Science. -2021. -Vol.86(2). -P.293-305. DOI 10.1111/1750-3841.15594.

2. Agarwal S., Fulgoni III V.L. Association of pork (all pork, fresh pork and processed pork) consumption with nutrient intakes and adequacy in US children (age 2–18 years) and adults (age 19+ years): NHANES 2011–2018 analysis //Nutrients. -2023. -Vol.15(10):2293. DOI 10.3390/nu15102293.

3. El Sadig R., Wu J. Are novel plant-based meat alternatives the healthier choice? //Food Research International. -2024. -Vol.183: 114184. DOI10.1016/j.foodres.2024.114184.

4. Полатовский М.В., Романова Т.Н. Влияние белково-жировой эмульсии на функционально-технологические свойства фарша из мяса птицы в обществе с ограниченной ответственностью «Антарос» // Современные технологии в производстве сельскохозяйственного сырья и продуктов питания: актуальные вопросы теории и практики. -2023. -С.67-71.

5. Данилов М.Б., Аюшеева Г.Н., Мелешкина Н.В. Разработка технологии обогащенных мясных рубленых полуфабрикатов //Все о мясе. -2016. -№1. - С.30-34.

6. Li, Z., Wang, K., Li, M., Jia, Y., Hou, J., Lu, F., & Liu, Y. Enzymatic deamidation soy protein isolate stabilized high internal phase emulsion as a new fat substitute in meat patties //Food Research International. -2025. -Vol.218: 116935. DOI 10.1016/j.foodres.2025.116935.

7. Zhumanova G., Rebezov M., Assenova B., Okuskhanova E. Prospects of using Poultry By-Products in the technology of chopped semi-finished products //International Journal of Engineering and Technology (UAE). -2018. -Vol.7 (3). -P.495-498. DOI 10.14419/ijet.v7i3.34.19367.

8. Chappalwar A., Kumar R., Pathak V., Goswami M., Verma A. K., Rajkumar V. Effect of Green Banana Pulp Addition on the Rheology, Physicochemical Properties, Texture, Nutritional Profile, and Sensory Quality of Chicken Patties. -2025. DOI 10.21203/rs.3.rs-7578389/v1

9. Vázquez-Meza, M. O., González-Ríos, H., González-Aguilar, G. A., Viuda-Martos, M., Dávila-Ramírez, J. L., & Valenzuela-Melendres, M. Effect of Fat Type and Mango Peel Powder on the

Physicochemical Properties of Beef Patties During Cold Storage and In Vitro Digestion //International Journal of Food Science. -2024. -Vol.2024 (1): 2981134. DOI 10.1155/2024/2981134.

10. Патент RU2518294C1. Рецептурная композиция рубленого полуфабриката с белково-жировой эмульсией / Барыбина Л. И., Дацко В.А., Оботурова Н.П., Шведенко Н.В., Смолко Е. В. заявитель и патентообладатель ООО научно-производственная организация «Стратегия». -№ RU2013102765/13A.

11. Патент RU2600682C1. Рецептурная композиция белково-жировой эмульсии для рубленых полуфабрикатов / Земцев Д.И., Здоренко Н.М.; заявитель и патентообладатель Автономная Н-КО высшего проф. образования «Белгородский университет кооперации, экономики и права». -№RU2015126201/13A.

12. Окусханова Э.К., Асенова Б.К., Тимур Н.Т., Атамбаева Ж.М., Ребезов М.Б. Разработка технологии производства и исследование пищевой ценности котлет для бургеров с использованием белково-жировой эмульсии//Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. -2025. -Т.3(19). -С. 407-418. DOI 10.53360/2788-7995-2025-3(19)-46.

13. Idyryshev B., Nurgazezova A., Assirzhanova Z., Utegenova A., Amirkhanov S., Jumazhanova M., Baikadamova A. Dautova A., Spanova A., Serikova A. Nutritional and Technological Benefits of Pine Nut Oil Emulsion Gel in Processed Meat Products //Foods. -2025. -Vol.14 (15):2553 DOI 10.3390/foods14152553.

14. Kakimov A.K., Suychinov A.K., Yessimbekov Z.S., Kabdylzhar B.K., Akimova D.A. Study of changes in the water-binding, water-holding and fat-holding capacity of meat cutlets with different content of beef rumen and beetroot//Bulletin of Shakarim University. Technical Sciences. -2022. -T.4(8). -P.21-31 DOI 10.53360/2788-7995-2022-4(8)-3.

References

1. He J., Liu, H., Balamurugan S., Shao S. Fatty acids and volatile flavor compounds in commercial plant-based burgers //Journal of Food Science. -2021. -Vol.86(2). -P.293-305. DOI 10.1111/1750-3841.15594.

2. Agarwal S., Fulgoni III V.L. Association of pork (all pork, fresh pork and processed pork) consumption with nutrient intakes and adequacy in US children (age 2–18 years) and adults (age 19+ years): NHANES 2011–2018 analysis //Nutrients. -2023. -Vol.15(10):2293. DOI 10.3390/nu15102293.

3. El Sadig R., Wu J. Are novel plant-based meat alternatives the healthier choice? //Food Research International. -2024. -Vol.183: 114184. DOI 10.1016/j.foodres.2024.114184.

4. Polatovskij M.V., Romanova T.N. Vlijanie belkovo-zhirovoj jemul' sii na funkcional' no-tehnologicheskie svojstva farsha iz mjasa pticy v obshhestve s ogranichennoj otvetstvennost' ju «Antaros» // Sovremennye tehnologii v proizvodstve sel' skohozjajstvennogo syr' ja i produktov pitanija: aktual' nye voprosy teorii i praktiki. -2023. -S.67-71. [in Russian]

5. Danilov M.B., Ayusheeva G.N., Meleshkina N.V. Razrabotka tekhnologii obogashchennykh myasnykh rublenykh polufabrikatov //Vse o myase. -2016. -№1. - S.30-34. [in Russian]

6. Li, Z., Wang, K., Li, M., Jia, Y., Hou, J., Lu, F., & Liu, Y. Enzymatic deamidation soy protein isolate stabilized high internal phase emulsion as a new fat substitute in meat patties //Food Research International. -2025. -Vol.218: 116935. DOI 10.1016/j.foodres.2025.116935.

7. Zhumanova G., Rebezov M., Assenova B., Okuskhanova E. Prospects of using Poultry By-Products in the technology of chopped semi-finished products //International Journal of Engineering and Technology (UAE). -2018. -Vol.7 (3). -P.495-498. DOI 10.14419/ijet.v7i3.34.19367.

8. Chappalwar A., Kumar R., Pathak V., Goswami M., Verma A. K., Rajkumar V. Effect of Green Banana Pulp Addition on the Rheology, Physicochemical Properties, Texture, Nutritional Profile, and Sensory Quality of Chicken Patties. -2025. DOI 10.21203/rs.3.rs-7578389/v1

9. Vázquez-Meza, M. O., González-Ríos, H., González-Aguilar, G. A., Viuda-Martos, M., Dávila-Ramírez, J. L., & Valenzuela-Melendres, M. Effect of Fat Type and Mango Peel Powder on the Physicochemical Properties of Beef Patties During Cold Storage and in Vitro Digestion //International Journal of Food Science. -2024. -Vol.2024 (1): 2981134. DOI 10.1155/2024/2981134.

10. Patent RU2518294C1. Recepturnaja kompozicija rublenogo polufabrikata s belkovo-zhirovoj jemul' siej / Barybina L. I., Dacko V.A., Oboturova N.P., Shvedenko N.V., Smolko E. V. zajavitel' i patentoobladatel' OOO nauchno-proizvodstvennaja organizacija «Strategija». -№RU2013102765/13A. [in Russian]

11. Patent RU2600682C1. Recepturnaja kompozicija belkovo-zhirovoj jemul' sii dlja rublenyh polufabrikatov / Zemcev D.I., Zdorenko N.M.; zajavitel' i patentoobladatel' Avtonomnaja NKO vysshego prof. obrazovanija «Belgorodskij universitet kooperacii, jekonomiki i prava». -№RU2015126201/13A. [in Russian]

12. Okushanova Je.K., Asenova B.K., Timur N.T., Atambaeva Zh.M., Rebezov M.B. Razrabotka tehnologii proizvodstva i issledovanie pishhevoj cennosti kotlet dlja burgerov s ispol' zovaniem belkovo-zhirovoj jemul' sii//Vestnik Universiteta Shakarima. Serija tehnicheskie nauki. -2025. -T.3(19). -S.407-418. DOI 10.53360/2788-7995-2025-3(19)-46.13. [in Russian]

13. Idyryshev B., Nurgazezova A., Assirzhanova Z., Utegenova A., Amirkhanov S., Jumazhanova M., Baikadamova A. Dautova A., Spanova A., Serikova A. Nutritional and Technological Benefits of Pine Nut Oil Emulsion Gel in Processed Meat Products //Foods. -2025. -Vol.14 (15):2553 DOI 10.3390/foods14152553.

14. Kakimov A.K., Suychinov A.K., Yessimbekov Z.S., Kabdylzhar B.K., Akimova D.A. Study of changes in the water-binding, water-holding and fat-holding capacity of meat cutlets with different content of beef rumen and beetroot//Bulletin of Shakarim University. Technical Sciences. -2022. -T.4(8). -P.21-31 DOI 10.53360/2788-7995-2022-4(8)-3.

Авторлар туралы мәлімет

Игенбаев А.К. - PhD-доктор, қауымдастырылған профессор, «С.Сейфуллин ат. Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан, e-mail: a.igenbayev@kazatu.edu.kz;

Абишева Р.Д. -т.ғ.к., доцент, «С.Сейфуллин ат. Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан, e-mail: ard1967@mail.ru;

Какеновна М.А. -техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «С.Сейфуллин ат. Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан, e-mail: ayaulym.mustafa@mail.ru;

Ребезов М.Б. - ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, ветеринария ғылымдарының кандидаты, профессор, В.М. Горбатов атындағы Ресей Ғылым академиясының азық-түлік жүйелерінің федералды ғылыми орталығы, Мәскеу, Ресей, e-mail: rebezov@yandex.ru.

Information about the authors

Igenbayev A.K. - PhD- doctor, associate professor, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University", Astana, Kazakhstan, e-mail: a.igenbayev@kazatu.edu.kz;

Abisheva R.D. - candidate of technical sciences, Associate Professor, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University", Astana, Kazakhstan, e-mail: ard1967@mail.ru;

Kakenov M.A. - Candidate of Technical Science, Associate professor, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University", Astana, Kazakhstan, e-mail: ayaulym.mustafa@mail.ru;

Rebezov M.B. - Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor, V.M. Gorbachev Federal Scientific Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, e-mail: rebezov@yandex.ru.

ГРНТИ 65.29.03 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1365**

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

С.Т. Жиенбаева, А. Изтаев, Т.К. Кулажанов, М.А. Якияева, М.Н. Мамыраев, М.Н. Рахымбаева, М.Б. Султанкул

Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан

Корреспондент-автор: yamadina88@mail.ru

В работе представлена комплексная оценка физико-химических и структурно-механических свойств зерна пшеницы, тритикале, ячменя и овса на основе совокупности экспериментальных данных. Исследования показали выраженную межвидовую и сортовую дифференциацию химического состава, биологической ценности и технологических характеристик зерновок. Содержание белка варьировало в пределах 12,37-14,79 %, достигая максимальных значений у озимой пшеницы «Стекловидная-24» (14,79 %) и ярового тритикале «Указ» (14,52 %). Массовая доля крахмала составляла 57,86-83,28 %, при этом наибольшее содержание отмечено у тритикала «Указ» (83,28 %). Содержание жиров в изученных образцах менялось в диапазоне 1, 58 до 6, 51 %. Максимальное значение было выявлено у овса сорта «Аламан», за счёт чём и повышенной энергетической ценности по сравнению с другими культурами. Содержание клетчатки изменялось в пределах 8, 42-16, 75 %, при этом максимальные показатели были выявлены у ячменя, что характерно для данной культуры с её выраженными диетическими свойствами.

Зольность зерна варьировала в диапазоне 0,4 до 3,2 % и также достигала максимальных значений у овса обусловленных повышенным содержанием минеральных веществ. Насыпная масса колебалась в пределах 45, 4-82, 9 кг/hl, а удельная плотность, в пределах 652-875, 5 г/см³, что характеризует отличия в структуре и плотности зерна различных культур. Общая антиоксидантная активность менялась в диапазоне 0, 369 до 3, 029 мг/г, а содержание полифенольных соединений, в пределах 0, 60-4, 86 %, причём максимальные значения были выявлены у овса. В целом установлено, что по функциональной и антиоксидантной ценности ячмень и овёс выделяются на фоне исследований, тогда как пшеница и тритикале характеризуются ярко выраженным белково-углеводным потенциалом. Это определяет целесообразность их дифференцированного и целенаправленного применения в технологиях переработки зерна с учётом требуемых пищевых и технологических свойств.

Ключевые слова: физико-химические свойства, структурно-механическое свойства, зерновые культуры, антиоксиданты, витамины.

ДӘНДІ ДАҚЫЛДАРДЫҢ ФИЗИКО-ХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ КЕШЕНДІ БАҒА БЕРУ

С.Т. Жиенбаева, А. Изтаев, Т.К. Кулажанов, М.А. Якияева, М.Н. Мамыраев, М.Н. Рахымбаева, М.Б. Султанкул

Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан, e-mail: yamadina88@mail.ru

Зерттеулер нәтижесінде бидай, тритикале, арпа және сұлы дәндерінің физика-химиялық және құрылымдық-механикалық қасиеттеріне жүргізілген кешенді бағалау нәтижелері эксперименттік деректер жиынтығы негізінде берілген. Зерттеу нәтижелері дәннің химиялық құрамы, биологиялық құндылығы және технологиялық сипаттамалары бойынша айқын түрлік және сорттық айырмашылықтардың бар екенін көрсетті. Ақуыз мөлшері 12,37-14,79 % аралығында өзгеріп, ең жоғары

көрсеткіштер күздік «Стекловидная-24» бидайында (14,79 %) және жаздық «Указ» тритикалесінде (14,52 %) анықталды. Крахмалдың массалық үлесі 57,86-83,28 % аралығында болды, бұл ретте ең жоғары мән «Указ» тритикалесінде (83,28 %) байқалды. Май мөлшері 1,58-6,51 % шегінде өзгерді, ең жоғары көрсеткіш «Аламан» сұлысында тіркеліп, оның жоғары энергетикалық құндылығын айқындайды. Клетчатка мөлшері 8,42-16,75 % аралығында болып, ең жоғары мәндер арпа дәніне тән болды.

Дәннің күлділігі 0,4-3,2 % аралығында өзгеріп, ең жоғары көрсеткіштер сұлыда анықталды, бұл минералдық заттардың жоғары мөлшерін көрсетеді. Насыпты масса 45,4-82,9 кг/hl, ал меншікті тығыздық 652-875,5 г/см³ аралығында болды. Дәннің антиоксиданттық белсенділігі 0,369-3,029 мг/г, полифенолдар мөлшері 0,60-4,86 % шегінде өзгеріп, ең жоғары мәндер сұлыда байқалды. Жалпы алғанда, арпа мен сұлының функционалдық және антиоксиданттық құндылығы ең жоғары екені, ал бидай мен тритикаленің ақуыз-көмірсулы әлеуеті басым болып келетіні анықталды, бұл оларды дәнді дақылдарды қайта өңдеу технологияларында мақсатты түрде пайдаланудың перспективалылығын көрсетеді.

Түйін сөздер: дәнді дақылдар, физико-химиялық қасиеттер, құрылымдық-механикалық қасиеттер, антиоксиданттар, витаминдер.

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF PHYSICOCHEMICAL AND STRUCTURAL-MECHANICAL PROPERTIES OF CEREAL CROPS

S.T. Zhiyenbayeva, A. Iztayev, T.K. Kulazhanov, M.A. Yakiyayeva✉, M.N. Mamyrayev, M.N. Rakhymbayeva, M.B. Sultankul

Almaty Technological University, Kazakhstan, e-mail: yamadina88@mail.ru

The study presents a comprehensive evaluation of the physicochemical and structural-mechanical properties of wheat, triticale, barley, and oat grains based on a set of experimental data. Studies have shown variability between species and varietal differences in terms of chemical composition, nutritional value, and processing properties of the grains. The protein content ranged from 12.37 to 14.79%, with the highest values found in winter wheat Steklovidnaya-24 (14.79%) and spring triticale Ukaz (14.52%). The starch content varied from 57.86 to 83.28%, with the highest content observed in triticale Ukaz (83.28%). The fat content ranged from 1.58 to 6.51%, with the highest value found in oats Alaman, which explains its high energy value. The crude fiber content ranged from 8.42 to 16.75%, with maximum levels found in barley.

The ash content of the grain varied from 0.4 to 3.2%, with the highest values recorded in oats, indicating a high content of mineral substances.Bulk density ranged from 45.4 to 82.9 kg/hl, while true density varied from 652 to 875.5 g/cm³. Antioxidant activity of the grain ranged from 0.369 to 3.029 mg/g, and polyphenol content from 0.60 to 4.86%, with the highest values observed in oats. It was established that barley and oats are characterized by the highest functional and antioxidant value, whereas wheat and triticale exhibit a more pronounced protein–carbohydrate potential, which determines their prospects for targeted use in grain processing technologies.

Keywords: cereal crops, physicochemical properties, structural-mechanical properties, antioxidants, vitamins.

Введение. За последние годы требования к качеству и стабильности зерна заметно выросли. Такой подход открывает новые горизонты для понимания технологического потенциала культур и прогноза их поведения при переработке. Пшеница, тритикале, овес и ячмень являются традиционными основными источниками для производства хлебобулочных изделий и муки,

крупы, экструзионных и функциональных продуктов, а также различных напитков. Их химический состав и механические свойства оказывают прямое влияние на количество и качество получаемой продукции, стабильность производственного процесса, энергозатраты, а также на возможные потери при хранении и транспортировке. Поэтому комплексная оценка данных параметров в настоящее время становится все более актуальной в условиях развития отрасли по переработке зерна [1,2].

Физико-химические показатели зерна во многом определяются его химическим составом, в котором ведущее место занимают показатели содержания белка, крахмала, липидов, пищевых волокон, β-глюканов, минеральных веществ, а также влажности, зольности, натуры и стекловидности. Именно эти параметры в значительной мере задают потенциальную пищевую ценность зерна и предопределяют его поведение при переработке [1,3]. Пшеница обычно характеризуется высоким содержанием крахмала и белка клейковины, которые и обуславливают формирование упругого структурного каркаса теста [4]. Показатели физико-механических свойств зерна позволяют решать большое количество прикладных задач, имеющих практическое значение [5]. Овёс и ячмень, как правило, содержат большее количество растворимых пищевых волокон, которые отличаются высокой гидрофильностью и вязкостью, что в значительной степени влияет на реологические свойства теста и структуру мякиша хлеба. Тритикале занимает промежуточное положение между пшеницей и рожью, сочетая повышенное содержание белка, минеральных компонентов и биологически активных веществ с умеренными хлебопекарными свойствами [6,7].

Пшеница характеризуется достаточно высокой прочностью стекловидного эндосперма, что способствует стабильному выходу муки и образованию клейковины требуемого качества при сохранении оптимальных условий помола. Однако с увеличением влажности зерна его твердость и энергия разрушения снижаются, что приводит к изменению характера измельчения. Этот фактор необходимо учитывать на этапах послеуборочной обработки, кондиционирования и хранения, поскольку режим влажности напрямую влияет на технологическое поведение зерна [8,9]. Овес и ячмень имеют более сложную анатомическую структуру мембран и эндосперма. Они характеризуются повышенным содержанием клеточных стенок и пищевых волокон, что формирует иную картину распределения механических напряжений при обработке. В результате такие культуры обладают особой механической устойчивостью и в то же время более высокой чувствительностью к механическим повреждениям при транспортировке и очистке от кожуры. По своим структурным и механическим характеристикам тритикале занимает промежуточное положение между пшеницей и рожью. В то же время его свойства характеризуются значительной вариабельностью, обусловленной сортовыми особенностями и условиями выращивания, что требует индивидуального подхода при выборе режимов переработки и хранения [10].

Физико-химические и структурно-механические свойства зерна в комплексе определяют реологические свойства теста и качество конечного продукта. Для пшеничного теста белки клейковины играют решающую роль, образуя эластичный каркас. При использовании в пшеничном тесте овсяной и ячменной муки или их добавок важную роль начинают играть некрахмалистые полисахариды, главным образом β-глюканы и арабиноксиланы, которые повышают водопоглощение, повышают вязкость и в то же время снижают газоудерживающую способность теста [11]. Это сопровождается уменьшением удельного объема хлеба и изменением структуры мякиша, но в то же время повышается питательная и функциональная ценность продуктов.

Тритикале активно рассматривается как альтернатива пшенице при производстве хлебобулочных изделий. Использование цельнозерновой муки тритикале позволяет увеличить содержание пищевых волокон, минералов и биологически активных компонентов в хлебе, но требу-

ет корректировки технологических режимов замеса и ферментации из-за меньшей устойчивости клейковины и других структурных и механических характеристик теста [12]. Использование ферментированных добавок и методов биотехнологической обработки способствует улучшению реологических характеристик теста на основе тритикале, повышению его устойчивости к деформации и стабилизации структуры мякиша [13].

Современные исследования показывают, что при объединении физико-химических и структурно-механических показателей можно более точно прогнозировать технологическое поведение зерна и качество продукции. Таким образом, изменение содержания β-глюканов и их молекулярной массы оказывает влияние не только на вязкость теста, но и на характер деформации и разрушения структурных элементов при механических воздействиях [14]. Аналогично перераспределение белка и крахмала в эндосперме отражается как на химическом составе муки, так и на её механической прочности и энергоёмкости разрушения [15].

Таким образом, пшеница, тритикале, овёс и ячмень существенно различаются по совокупности физико-химических и структурно-механических характеристик, что обусловливает их различное технологическое поведение при переработке. Пшеница обеспечивает формирование развитой клейковинной структуры, овес и ячмень придают продуктам функциональные свойства благодаря высокому содержанию бета-глюканов, а тритикале сочетает в себе характеристики обеих групп культур, представляя перспективное сырье для расширения ассортимента хлебобулочных и функциональных изделий. В связи с этим комплексная оценка свойств зерновых культур, основанная на одновременном учете их химического состава, механической прочности и реологических характеристик, является важнейшей научно-практической задачей, решение которой позволяет разумно подбирать сырье, совершенствовать технологические приемы и повышать качество продукции завершено [16].

Целью исследования является проведение комплексной сравнительной оценки физико-химических, структурных и механических свойств зерен тритикале, пшеницы, овса и ячменя, а также установление взаимосвязи полученных характеристик с технологическими показателями их переработки.

Цели исследования включали последовательное решение следующих научных вопросов. Во-первых, была проведена сравнительная оценка основного химического состава зерен пшеницы, тритикале, ячменя и овса с точки зрения ключевых питательных свойств: содержания белка, жира, крахмала, клетчатки и золы. Это позволило нам определить возможные направления технологического использования каждой культуры. Во-вторых, липидный комплекс зерна и его окислительная стабильность были изучены по определению кислотного и перекисного показателей жира, что позволило оценить степень гидролитических и окислительных изменений, влияющих на качество и безопасность сырья. В-третьих, были оценены физико-химические характеристики состояния и плотности зерна, включая массу 1000 зерен, насыпной вес, удельный вес, влажность и pH среды. Эти параметры отражают структурные характеристики зерна и оказывают существенное влияние на процессы хранения, транспортировки и переработки. В-четвертых, была определена функциональная и антиоксидантная ценность зерна с точки зрения содержания клетчатки, полифенольных соединений и водорастворимых антиоксидантов, что позволило оценить перспективы культур в разработке функциональных и профилактических продуктов. Следующая задача: исследовать витаминный профиль зерна по содержанию витаминов группы B (B_1, B_2, B_3, B_5, B_6, B_9) и витамина E (α-токоферола).

Научная новизна работы заключается в комплексном исследовании физико-химических и структурно-механических свойств различных сортов зерновых культур категории «элита» и «супер элита», а именно: озимого тритикале «Кожа» (супер элита), ярового тритикале «Указ» (супер элита), озимой пшеницы «Димаш» (су-

пер элита), озимой пшеницы «Стекловидная-24» (супер элита), озимого ячменя «Айдын» (элита), ярового ячменя «Север-1» (элита), а также овса «Аламан». Проведенные исследования основаны на комплексной оценке качественных характеристик казахстанских сортов культур.

Полученные результаты позволяют более точно прогнозировать технологическое поведение зернового сырья при переработке и обеспечить научно обоснованный отбор сортов зерна для производства различных видов пищевых продуктов. Тщательная оценка химического состава и структурно-механических свойств зерна способствует оптимизации технологических режимов переработки, формированию оптимальной структуры и текстуры продуктов, а также повышению их пищевой и биологической ценности, что в конечном итоге улучшает качество и стабильность из характеристик готовой продукции.

Материалы и методы. Объектами исследования служило зерно следующих сортов зерновых культур категории «элита» и «супер элита»:

- озимое тритикале «Кожа» (супер элита);
- яровое тритикале «Указ» (супер элита);
- озимая пшеница «Димаш» (супер элита);
- озимая пшеница «Стекловидная-24» (супер элита);
- озимый ячмень «Айдын» (элита);
- яровой ячмень «Север-1» (элита);
- овёс «Аламан».

Отбор проб проводили по стандартной методике. Зерно очищали от примесей, доводили до лабораторных условий и использовали для определения комплекса физико-химических и структурно-механических показателей.

В зерне всех образцов определяли массовую долю белка, жира, крахмала, клетчатки, полифенолов, водорастворимых антиоксидантов, витаминов группы В и витамина Е (α-токоферол). Содержание белка определяли по общему азоту с пересчётом на белок. Массовую долю жира устанавливали экстракционным методом. Крахмал определяли ферментативно-колориметрическим методом. Клетчатку определяли после кислотно-щелочной обработки с последующим прокаливанием остатка. Полифенолы определяли спектрофотометрическим методом. Водорастворимые антиоксиданты определяли по ГОСТ Р 54037-2010. Витамины группы В определяли по ГОСТ 31483-2012. Витамин Е (α-токоферол) определяли по ГОСТ Р 54634-2011. Качество липидной фракции оценивали по кислотному числу жира (мг КОН/г) и перекисному числу жира (ммоль/кг) определяли титриметрическими методами. Зольность зерна определяли по ГОСТ 10847-74 «Зерно. Метод определения зольности». Активную кислотность (pH) водной вытяжки зерна определяли потенциометрическим методом в соответствии с ГОСТ 26294-89.

Массу 1000 зёрен определяли взвешиванием с трёхкратной повторностью. Насыпную массу и влажность зерна определяли на автоматическом анализаторе Perten Instruments AM 5200. Удельную плотность (г/см^3) определяли с использованием литровой пурки ПХ-1 как отношение массы зерна к его объёму. Влажность дополнительно контролировали на анализаторе AgriChek. Для зерна пшеницы (сорта «Димаш», «Стекловидная-24») и тритикале («Кожа», «Указ») дополнительно определяли массовую долю сырой клейковины и показатель седиментации на анализаторе AgriChek с автоматической коррекцией по влажности. Для ячменя и овса показатели клейковины и седиментации не определяли в связи с отсутствием выраженного клейковинного комплекса.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием методов вариационной статистики. Результаты представлены в виде среднего арифметического значения и стандартного отклонения (±SD). Достоверность различий между показателями оценивали с применением критерия Стьюдента (t-test). Уровень статистической значимости принимали равным $p \leq 0,05$. Обработку данных выполняли с использованием программного обеспечения Microsoft Excel / Statistica.

Все анализы выполняли не менее чем в трёхкратной повторности. Результаты выража-

ли в виде среднего значения и стандартного отклонения. Полученные физико-химические и структурно-механические показатели использовали для комплексной сравнительной оценки свойств зерна тритикале, пшеницы, ячменя и овса.

Обсуждение и результаты. В результате проведённых исследований получен комплекс экспериментальных данных, характеризующих физико-химические и структурно-механические свойства зерна пшеницы, тритикале, ячменя и овса. Оценка показателей белка, жира, крахмала, клетчатки, витаминов, антиоксидантной активности, а также плотностных и технологических характеристик позволила выявить как межвидовые, так и сортовые различия исследуемых культур, отражающие особенности их биохимической природы и структурной организации зерновки.

Полученные результаты были систематизированы в основных функциональных блоках показателей, что позволило не только сравнить изучаемые культуры друг с другом, но и выявить взаимосвязи между их химическим составом, структурно-механическими характеристиками и возможными технологическими свойствами при обработке. Такой подход позволил получить более целостное представление о том, как набор характеристик зерна влияет на его поведение в производственных процессах. Особое внимание было уделено сравнительному анализу белково-глютенового комплекса пшеницы и тритикале как ключевого фактора формирования хлебопекарных свойств. Что касается овса и ячменя, то основное внимание уделяется изучению их липидного и антиоксидантного профиля, который определяет питательную ценность и устойчивость к окислительным изменениям. Кроме того, подробно рассмотрены плотностные и углеводные характеристики всех исследуемых образцов, поскольку они во многом определяют технологическую пригодность зерна и эффективность его переработки. Основные показатели химического состава исследуемых образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Химический состав исследуемых зерновых культур

Зерновые культуры	Белок, %	Жир, %	Крахмал, %	Клечатка, %	Зольность, %
Озимое Тритикале «Кожа Супер Элита»	12,37±0,21	2,43±0,17	75,71±0,20	8,4213±0,21	1,55±0,08
Яровое Тритикале «Указ Супер Элита»	14,52±0,23	2,67±0,22	83,28±0,21	9,26±0,21	0,4±0,08
Озимая пшеница «Димаш Супер Элита»	14,69±0,32	2,93±0,18	74,66±0,24	0,911±0,21	1,3±0,09
Озимая пшеница «Стекловидная-24 Супер Элита»	14,79±0,12	1,58±0,2	61,95±0,23	12,81±0,21	0,94±0,07
Озимый ячмень «Айдын Элита»	12,98±0,11	3,23±0,25	59,22±0,22	15,23±0,21	2,3±0,055
Яровой Ячмень Север-1 Элита	14,37±0,22	3,55±0,3	65,14±0,21	16,75±0,21	2,6±0,06
Овес «Аламан»	13,88±0,33	6,5±0,21	57,86±0,25	12,60±0,21	3,2±0,07

Содержание белка в зерне изучаемых образцов (Таблица 1) колебалось в пределах 12, 37-14, 79 %. Максимальные показатели была у озимой пшеницы «Стекловидная-24» (14, 79 %) и «Димаш» (14, 69 %), а также у ярового тритикале «Указ» (14, 52 %), что свидетельствует об их высокой белковой ценности. Полученные данные сопоставимы с результатами зарубежных ученых, как Shewry P.R. (2019). Согласно работе этого ученого, содержание белка в зерне пшеницы варьируются в пределах 12-15%, что соответствует результатами настоящего исследование [16]. Минимум белка содержалось в озимом тритикале «Кожа» (12, 37 %). Доля крахмала варьировала от 57, 86 до 83, 28 %, при этом максимальное значение у ярового тритикале «Указ» (83, 28 %), что характеризует данный образец, как наиболее углеводно-ориентированный по составу.

Содержание жира находилось в пределах от 1, 58 до 6, 51 %. Минимальные значения характерны для озимой пшеницы «Стекловидная-24», тогда как максимальное содержание жира выявлено у овса «Аламан», что связано с высокой энергетической ценностью. Повышенные значения жира также отмечены у ячменя. Доля клетчатки варьировала в пределах от 0, 911 до 16, 75 %, при этом максимум отмечен у ярового и озимого ячменя, а минимум у озимой пшеницы «Димаш», что говорит о видовых различиях по содержанию оболочек и уровню пищевых волокон. Зольность зерновой массы растительных культур колебалась в довольно широких пределах от 0, 4 до 3, 2 %. Минимальное значение зольности было у ярового тритикале «Указ», что говорит о низком содержании минеральных веществ и преобладании в зерне эндосперма. Более высокие значения зольности характерны для ячменя (2, 3-2, 6 %) и, особенно, для овса «Аламан» (3, 2 %), что связано с большей долей оболочек, в которых сосредоточено большое количество минеральных веществ. Пшеница и озимое тритикале занимают по данному показателю промежуточное место. Результаты исследования подтверждают, что, в частности, овёс и ячмень, являются наиболее ценным источником минеральных веществ среди изучаемых видов зерна.

Таблица 2 - Содержание жира и окислительная стабильность зерна

Зерновые культуры	Жир,%	Кислотное число жира, мг КОН/г	Перекисное число жира, ммоль/кг
Озимое Тритикале «Кожа Супер Элита»	2,43±0,055	0,49±0,083	2,91±0,077
Яровое Тритикале «Указ Супер Элита»	2,67±0,064	0,53±0,078	3,20±0,073
Озимая пшеница «Димаш Супер Элита»	2,93±0,058	0,59±0,093	3,52±0,068
Озимая пшеница «Стекловидная-24 Супер Элита»	1,58±0,049	0,32±0,074	1,89±0,083
Озимый ячмень «Айдын Элита»	3,23±0,052	0,65±0,085	3,87±0,017
Яровой Ячмень Север-1 Элита	3,55±0,047	0,71±0,066	4,26±0,034
Овес «Аламан»	6,5±0,039	0,81±0,056	4,88±0,027

А также провели оценку липидного комплекса исследуемых зерновых культур. Были проанализированы содержание жира, кислотное и перекисное числа исследуемых образцов. Эти данные позволяет оценить не только количественные характеристики липидной фракции, но и

степень гидролитических и окислительных изменений. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Результаты, приведенные в таблице 2 показали, что жир в изученных образцах зерна изменялся от 1, 58 до 6, 51 %. Меньшее его количество отмечено у озимой пшеницы «Стекловидная-24», тогда как максимальное, у овса «Аламан», что характеризует его как высококалорийную сельскохозяйственную культуру, с специфическим накоплением липидов. Значительные его количества были также у ярового и озимого ячменя, пшеница и тритикале, меньше всего. Такие различия обусловлены различиями в обмене веществ и структурой прорастающего зерна.

Кислотное число жира колебалось в диапазоне от 0, 32 до 0, 81 мг КОН/г. Меньшие значения характерны для озимой пшеницы «Стекловидная-24», что указывает на низкий гидролиз липидов. Максимальное кислотное число жира было у овса «Аламан» и у ярового ячменя «Север-1», что объясняет высокую активность липаз и возможную склонность жира к гидролизу. Перекисное число жира было в интервале от 1, 89 до 4, 88 ммоль/кг. Меньшие его значения были у озимой пшеницы «Стекловидная-24», а большие, у овса «Аламан» и ячменя, что характеризует их липидную часть, как более подверженную окислению. Установлено, что культуры с высоким содержанием жира, это не только высокий показатель кислотного, но и перекисного числа, что следует учитывать при хранении и переработке зерна.

Для комплексной оценки физико-механических и технологических свойств исследуемых образцов, так же были проанализированы показатели насыпной массы, удельной плотности массы 1000 зерен, влажности и активной кислотности. Эти параметры значительно влияет на процесс хранения и переработки. Полученные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Физико-химические и плотностные показатели зерновых культур

Зерновые культуры	Насыпная масса, kg/hL	Удельная плотность (г/см^3)	Масса 1000 зерен, г	Влажность, %	pH
Озимое Тритикале «Кожа Супер Элита»	67,7±0,052	855±0,75	21,132±0,20	9,59±0,11	6,23±0,029
Яровое Тритикале «Указ Супер Элита»	74,4±0,053	875,5±0,76	15,312±0,21	9,28±0,12	6,2±0,033
Озимая пшеница «Димаш Супер Элита»	81,3±0,052	825±0,82	20,960±0,20	9,17±0,10	6,22±0,028
Озимая пшеница «Стекловидная-24 Супер Элита»	82,9±0,051	840±0,78	21,522±0,22	9,40±0,14	6,23±0,031
Озимый ячмень «Айдын Элита»	64,3±0,052	657,2±0,83	20,319±0,24	10,36±0,10	5,76±0,030
Яровой Ячмень Север-1 Элита	64,1±0,048	652±0,80	22,700±0,20	10,57±0,13	5,71±0,025
Овес «Аламан»	45,4±0,053	737±0,79	19,949±0,22	9,35±0,10	6,00±0,020

Выявленные данные представленные в таблице 3 показали, что насыпная масса исследованных образцов зерна изменялась в пределах от 45,4 до 82,9 кг/hL. Наибольшие показатели характерны для озимой пшеницы «Стекловидная-24» и «Димаш», что свидетельствует о высокой выполненности зерна, хорошей выравненности и плотной структуре эндосперма. Более низкие значения отмечены у овса «Аламан» и ячменя, что объясняется большей долей оболочечных тканей и относительно меньшим содержанием эндосперма, влияющих на объемную массу зерна. Удельная плотность варьировала от 652 до 875,5 г/см³. Максимальные значения зафиксированы у ярового тритикала «Указ» и озимой пшеницы, что указывает на более компактную структуру зерновки и потенциально лучшие помольные свойства, поскольку плотное зерно, как правило, характеризуется более прогнозируемым поведением при дроблении. Масса 1000 зёрен находилась в диапазоне от 15,312 до 22,700 г. Минимальное значение установлено у ярового тритикала «Указ», а максимальное - у ярового ячменя «Север-1», что отражает сортовые особенности формирования зерновки и условия накопления сухих веществ. Пшеница и озимое тритикале демонстрировали близкие значения данного показателя, что указывает на сопоставимый уровень развития эндосперма и степень выполненности зерна.

Влажность образцов варьировала от 9,17 до 10,57 %, что соответствует кондиционному состоянию зерна и обеспечивает его относительную устойчивость при хранении. Несколько более высокие показатели влажности отмечены у ячменя, что потенциально может повышать его чувствительность к микробиологической порче при неблагоприятных условиях хранения. Значения pH находились в пределах 5,71-6,23 и соответствовали слабокислой реакции среды, типичной для злаковых культур. Более низкие показатели pH у ячменя могут свидетельствовать о более выраженной ферментативной активности, тогда как относительно более высокие значения у пшеницы и тритикале указывают на большую стабильность зерна в процессе хранения.

Для визуализации функциональных и антиоксидантных свойств зерновых культур были были проанализированы содержание клетчатки, полифенолов и водорастворимых антиоксидантов. Эти показатели отражают пищевую и биологическую ценность зерна. Полученные результаты представлены на рисунке 1.

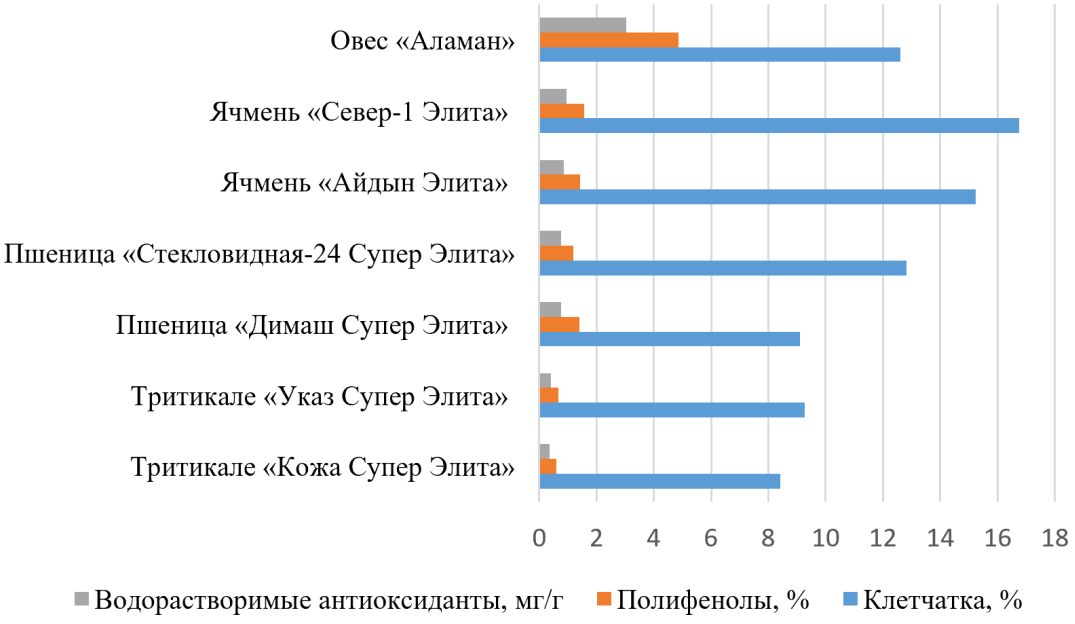


Рис.1 - Показатели функциональной и антиоксидантной ценности зерна

Представленные на рисунке 1 результаты содержание клетчатки в зерне исследуемых культур составило 8,42 % у озимого тритикале «Кожа», 9,26 % у ярового тритикале «Указ», 9,11 % у озимой пшеницы «Димаш», 12,81 % у озимой пшеницы «Стекловидная-24», 15,23 % у озимого ячменя «Айдын», 16,75 % у ярового ячменя «Север-1» и 12,60 % у овса «Аламан», при этом максимальные значения характерны для ячменя, а минимальные - для тритикале. Содержание полифенолов изменялось от 0,60 % у озимого тритикале «Кожа» и 0,66 % у ярового тритикале «Указ» до 1,40 % у пшеницы «Димаш», 1,18 % у пшеницы «Стекловидная-24», 1,43 % у озимого ячменя «Айдын» и 1,57 % у ярового ячменя «Север-1», при этом наибольшее значение зафиксировано у овса «Аламан» - 4,86 %. Концентрация водорастворимых антиоксидантов составила 0,369 мг/г у озимого тритикале «Кожа», 0,406 мг/г у ярового тритикале «Указ», 0,753 мг/г у озимой пшеницы «Димаш», 0,762 мг/г у озимой пшеницы «Стекловидная-24», 0,858 мг/г у озимого ячменя «Айдын», 0,944 мг/г у ярового ячменя «Север-1», при максимальном значении у овса «Аламан» - 3,029 мг/г. В целом установлено, что овёс и ячмень характеризуются наибольшими значениями клетчатки, полифенолов и антиоксидантной активности, что подтверждает их наиболее выраженную функциональную и антиоксидантную ценность, тогда как тритикале занимает минимальные позиции по данным показателям.

Содержание витаминов группы В в исследуемых образцах представлены в таблице 4. Эти показатели отражают биологическую ценность зерна и его функциональный потенциал для питания человека.

Таблица 4 - Витаминный профиль зерна исследуемых культур

Зерновые культуры	B_1, мг/100г	B_2, мг/100г	B_3, мг/100г	B_5, мг/100г	B_6, мг/100г	B_9, мг/100г
Озимое Тритикале «Кожа Супер Элита»	0,437±0,03	0,141±0,02	1,502±0,02	1,389±0,03	0,145±0,01	0,077±0,01
Яровое Тритикале «Указ Супер Элита» (2025)	0,480±0,02	0,155±0,01	1,652±0,03	1,528±0,02	0,159±0,02	0,084±0,03
Озимая пшеница «Димаш Супер Элита» (2025)	0,440±0,04	0,127±0,05	7,075±0,02	0,982±0,01	0,440±0,03	0,045±0,02
Озимая пшеница «Стекловидная-24 Супер Элита» (2025)	0,402±0,02	0,121±0,01	5,737±0,03	1,002±0,05	0,315±0,03	0,040±0,04
Озимый ячмень «Айдын Элита» (2025)	0,347±0,01	0,137±0,02	6,825±0,01	0,735±0,02	0,494±0,02	0,042±0,03
Яровой Ячмень Север-1 Элита (2024)	0,381±0,04	0,150±0,04	7,508±0,02	0,809±0,04	0,543±0,02	0,046±0,01
Овес «Аламан»	0,494±0,02	0,126±0,03	1,050±0,03	0,273±0,05	0,284±0,05	Не обнр

Содержание витаминов группы В в исследуемых образцах зерна представленные в таблице 4 характеризовалось выраженной межвидовой и межсортовой изменчивостью. Уровень витамина B_1 (тиамина) изменялся от 0,347 мг/100 г у озимого ячменя «Айдын» до 0,494 мг/100 г у овса «Аламан», при этом тритикале и пшеница занимали промежуточное положение. Содержание витамина B_2 (рибофлавина) варьировало в диапазоне 0,121–0,155 мг/100 г, максимальные значения отмечены у ярового тритикале «Указ» и ярового ячменя «Север-1». Витамин B_3 (ниацин) накапливался в наибольших количествах у ярового ячменя «Север-1» (7,508 мг/100 г), ози-

мой пшеницы «Димаш» (7,075 мг/100 г) и озимого ячменя «Айдын» (6,825 мг/100 г), тогда как минимальное значение зафиксировано у овса «Аламан» (1,050 мг/100 г). Содержание витамина B_5 (пантотеновой кислоты) изменялось от 0,273 мг/100 г у овса до 1,528 мг/100 г у ярового тритикале, что указывает на высокую обеспеченность данным витамином именно у тритикалевых форм. Уровень витамина B_6 (пиридоксина) варьировал от 0,145 мг/100 г у озимого тритикале до 0,543 мг/100 г у ярового ячменя, что свидетельствует о высокой биологической ценности ячменя. Содержание витамина B_9 (фолиевой кислоты) находилось в пределах 0,040-0,084 мг/100 г, при этом наибольшее значение отмечено у ярового тритикале «Указ», тогда как у овса фолиевая кислота не обнаружена. В целом установлено, что ячмень и тритикале характеризуются наиболее высоким суммарным содержанием витаминов группы В, что определяет их повышенную биологическую и функциональную ценность, тогда как пшеница и овёс имеют более избирательный витаминный профиль.

Содержание α-токоферола в зерне злаковых культур представлены на рисунке 2. Эти данные позволяют оценить содержание витамина Е и его вклад в питательную ценность зерна.

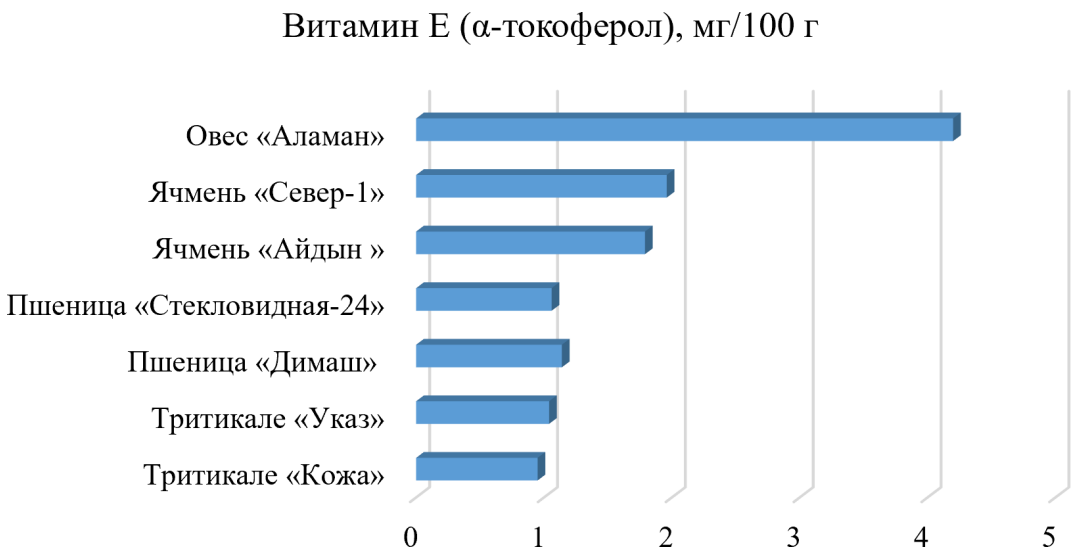


Рис.2 - Содержание α-токоферола в зерне злаковых культур

Содержание витамина Е (α-токоферола) в зерне исследуемых культур изменялось в широком диапазоне - от 0,95 до 4,20 мг/100 г. Минимальное значение зафиксировано у тритикале «Кожа», несколько более высокие значения характерны для тритикале «Указ» (1,04 мг/100 г) и пшеницы «Стекловидная-24» (1,06 мг/100 г), тогда как у пшеницы «Димаш» содержание витамина Е достигало 1,14 мг/100 г. Существенно более высокие значения α-токоферола установлены у ячменя: 1,79 мг/100 г у сорта «Айдын» и 1,96 мг/100 г у сорта «Север-1», что свидетельствует о более высокой антиоксидантной обеспеченности данной культуры. Максимальное содержание витамина Е выявлено у овса «Аламан» - 4,20 мг/100 г, что более чем в два раза превышает показатели ячменя и в 3-4 раза - показатели пшеницы и тритикале. Полученные данные подтверждают, что овёс и ячмень обладают наиболее выраженной антиоксидантной активностью за счёт высокого содержания α-токоферола, тогда как пшеница и тритикале характеризуются более умеренным уровнем данного жирорастворимого витамина. Полученные результаты, также сопостовимы с зарубежными исследованиями Butt M.S. (2008) [17]. Они показывают, что овес и ячмень характеризуются повышенным содержание -глюканов и антиоксидантной актив-

ностью, что поддерживает их высокую функциональную ценность. Так же, в работе Cui et.al., (2025) [18] отмечено, что изменчивость химического состава и питательная ценность тритикале зависит от сорта и условий выращивания, что согласуется с полученными результатами.

Выводы. В результате проведённых исследований выполнена комплексная оценка физико-химических, структурно-механических, функциональных и витаминных свойств зерна пшеницы, тритикале, ячменя и овса Было обнаружено, что пшеница и тритикале имеют более высокое содержание белка и крахмала, что определяет их основное назначение при технологической переработке и высокую ценность для приготовления пищи. В то время как овес и ячмень характеризуются высоким содержанием жиров, клетчатки, полифенолов и минералов, что обусловливает более выраженные функциональные и диетические свойства этих культур.

Исследование содержания липидов и показателей их окислительной стабильности показало, что культуры с более высоким содержанием жиров (овес и ячмень) характеризуются более высокими значениями кислотных и перекисных показателей, которые необходимо учитывать при хранении зерна. Исходя из содержания витаминов, ячмень и тритикале имеют более высокое общее содержание витаминов группы В, в то время как овес имеет максимальное содержание витамина Е, что приводит к высокому уровню его антиоксидантной активности. Это подтверждает целесообразность использования овса и ячменя для производства функционального питания.

Оценка физико-химического состояния и характеристик плотности зерна показала, что пшеница и тритикале имеют более высокую насыпную массу и удельную плотность, что указывает на более тщательную подготовку зерна и, возможно, более высокие свойства измельчения. Значения влажности и pH всех образцов соответствовали требованиям и обеспечивали стабильность зерна при хранении. В целом полученные результаты подтверждают целесообразность дифференцированного использования исследуемых культур: пшеницы и тритикале - преимущественно для технологических целей, овса и ячменя - для создания функциональных и диетических продуктов питания.

Финансирование. *Результаты, представленные в статье, прлучены в рамках грантового финансирования КН МНВО РК № AP26105476 «Разработка безопасной технологии длительного силосного хранения цельно смолотой муки из зерновых и бобовых культур различной дисперсности (2025-2026)».*

Литература

1. Garutti M., et al. The impact of cereal grain composition on the health and disease outcomes //Frontiers in nutrition. -2022. -Vol.9: 888974. DOI 10.3389/fnut.2022.888974.

2. Shoukat M., Sorrentino A. Cereal β-glucan: A promising prebiotic polysaccharide and its impact on the gut health //International Journal of Food Science and Technology. -2021. -Vol.56(5). -P. 2088-2097. DOI 10.1111/ijfs.14971.

3. Codină G.G., et al. Physicochemical Properties, Polyphenol and Mineral Composition of Different Triticale Varieties Cultivated in the Republic of Moldova //Molecules. -2025. -Vol.30 (6): 1233. DOI 10.3390/molecules30061233.

4. Башабаева Б., Рсымбетов А., Айнебекова, Б., Сураубаева А., Кенес Б., Мереева Т., МасимгазиеваА. Оценка технологических показателей качества зерна селекционных линий озимой пшеницы// Izdenister Natigeler.-2025.-№ 3(107).- С.177–188. DOI 10.37884/3-2025/16.

5. Rajabov A., & Rajabov Д. Research of technological properties and food safety of grain of domestic wheat varieties// Modern Science and Research. - 2023.-Vol.2(7)/- PP.468–477. DOI 10.5281/zenodo.8199722.

6. Karimi R., Azizi M. H., Xu Q. Effect of different enzymatic extractions on molecular weight distribution, rheological and microstructural properties of barley bran β-glucan //International journal of biological macromolecules.-2019.-Vol.126. -P.298-309. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2018.12.165.

7. Grgić T., et al. Pulsed electric field treatment of oat and barley flour: influence on enzymes, non-starch polysaccharides, dough rheological properties, and application in flat bread //Food and Bioprocess Technology. -2024. -Vol.17(11). -P.4303-4324. DOI 10.1007/s11947-024-03383-3.

8. Duque S.M.M., et al. Understanding the impact of Pulsed Electric Fields treatment on the thermal and pasting properties of raw and thermally processed oat flours //Food Research International. -2020. -Vol.129: 108839. DOI 10.1016/j.foodres.2019.108839.

9. Mansoor R., et al. Effects of barley flour on dough rheology, texture, sensory and glycemic index of traditional unleavened flat bread (Roti) //Cereal Chemistry. -2019. -Vol.96 (6). - P.1170-1179. DOI 10.1002/cche.10228.

10. Кандроков Р.Х., и др. Использование цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки для производства хлебобулочных изделий //Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. -2025. -Т.17 (1). - С.518-543. DOI 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1084.

11. Ghendov-Mosanu A., et al. Effect of Brewers' Spent Grain Addition to a Fermented Form on Dough Rheological Properties from Different Triticale Flour Cultivars //Foods. -2024. Vol.14(1): 41. DOI 10.3390/foods14010041.

12. Barrera G.N., et al. Nano-and micro-mechanical properties of wheat grain by atomic force microscopy (AFM) and nano-indentation (IIT) and their relationship with the mechanical properties evaluated by uniaxial compression test //Journal of Cereal Science. -2019. -Vol. 90: 102830. DOI 10.1016/j.jcs.2019.102830.

13. Chen Y., et al. Fracture Behavior and Mechanisms of Wheat Kernels Under Mechanical Loading //Foods. -2025. -Vol.14 (18):3174. DOI 10.3390/foods14183174.

14. Gao P., et al. Determination methods and influencing factors of grain mechanical properties //Journal of Food Quality. -2024. -Vol.2024 (1): 3407485. DOI 10.1155/2024/3407485.

15. Zhou Y., et al. Dietary fiber-gluten protein interaction in wheat flour dough: Analysis, consequences and proposed mechanisms //Food Hydrocolloids. -2021. -Vol.111: 106203. DOI 10.1016/j.foodhyd.2020.106203.

16. Shewry, P. R. Wheat. //Journal of Experimental Botany.-2009.- Vol.60(6). - PP.1537-1553. DOI 10.1093/jxb/erp058.

17. Butt, M. S., Tahir-Nadeem, M., Khan, M. K. I., Shabir, R., & Butt, M. S. Oat: unique among the cereals. //European Journal of Nutrition. -2008.- 47(2), 68-79. DOI 10.1007/s00394-008-0698-7.

18. Cui, L., Xu, L., Wang, H., Fan, X., Yan, C., Zhang, Y., Jiang, C., Zhou, T., Guo, Q., Sun, Y., Yang, F., & Li, H. (2025). Evaluation of dual-purpose triticale // Grain and forage productivity and quality under semi-arid conditions. // Agronomy. -2025.- Vol.15(4): 881. DOI 10.3390/agronomy15040881.

References

1. Garutti M., et al. The impact of cereal grain composition on the health and disease outcomes //Frontiers in nutrition. -2022. -Vol.9: 888974. DOI:10.3389/fnut.2022.888974.

2. Shoukat M., Sorrentino A. Cereal β-glucan: A promising prebiotic polysaccharide and its impact on the gut health //International Journal of Food Science and Technology. -2021. -Vol.56(5). -P. 2088-2097. DOI:10.1111/ijfs.14971.

3. Codină G.G., et al. Physicochemical Properties, Polyphenol and Mineral Composition of Different Triticale Varieties Cultivated in the Republic of Moldova //Molecules. -2025. -Vol.30 (6): 1233. DOI: 10.3390/molecules30061233.

4. Bashabaeva, B., Rsymbetov, A., Ainebekova, B., Suraubaeva, A., Kenes, B., Mereyeva, T., & Masimgazieva, A. (2025). Otsenka tekhnologicheskikh pokazatelei kachestva zerna selektsionnykh liniy ozimoy pshenitsy. Izdenister Natigeler, 3(107), 177–188. https://doi.org/10.37884/3-2025/16

5. Rajabov A., & Rajabov Д. (2023). Research of technological properties and food safety of grain of domestic wheat varieties. Modern Science and Research, 2(7), 468–477. https://doi.org/10.5281/zenodo.8199722

6. Karimi R., Azizi M. H., Xu Q. Effect of different enzymatic extractions on molecular weight distribution, rheological and microstructural properties of barley bran β-glucan //International journal of biological macromolecules. -2019. -Vol.126. -P.298-309. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2018.12.165.

7. Grgić T., et al. Pulsed electric field treatment of oat and barley flour: influence on enzymes, non-starch polysaccharides, dough rheological properties, and application in flat bread //Food and Bioprocess Technology. -2024. -Vol.17(11). -P.4303-4324. DOI:10.1007/s11947-024-03383-3.

8. Duque S.M.M., et al. Understanding the impact of Pulsed Electric Fields treatment on the thermal and pasting properties of raw and thermally processed oat flours //Food Research International. -2020. -Vol.129: 108839. DOI 10.1016/j.foodres.2019.108839.

9. Mansoor R., et al. Effects of barley flour on dough rheology, texture, sensory and glycemic index of traditional unleavened flat bread (Roti) //Cereal Chemistry. -2019. -Vol.96 (6). –P.1170-1179. DOI:10.1002/cche.10228.

10. Kandrokov R.H., i dr. Ispol’ zovanie cel’ nosmolotoj pshenichno-tritikalevoj muki dlja proizvodstva hlebobulochnyh izdelij //Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. -2025. -T.17 (1). - P.518-543. DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1084.

11. Ghendov-Mosanu A., et al. Effect of Brewers’ Spent Grain Addition to a Fermented Form on Dough Rheological Properties from Different Triticale Flour Cultivars //Foods. -2024. Vol.14(1): 41. DOI:10.3390/foods14010041.

12. Barrera G.N., et al. Nano-and micro-mechanical properties of wheat grain by atomic force microscopy (AFM) and nano-indentation (IIT) and their relationship with the mechanical properties evaluated by uniaxial compression test //Journal of Cereal Science. -2019. -Vol. 90: 102830. DOI: 10.1016/j.jcs.2019.102830.

13. Chen Y., et al. Fracture Behavior and Mechanisms of Wheat Kernels Under Mechanical Loading //Foods. -2025. -Vol.14 (18):3174. DOI: 10.3390/foods14183174.

14. Gao P., et al. Determination methods and influencing factors of grain mechanical properties //Journal of Food Quality. -2024. -Vol.2024 (1): 3407485. DOI:10.1155/2024/3407485.

15. Zhou Y., et al. Dietary fiber-gluten protein interaction in wheat flour dough: Analysis, consequences and proposed mechanisms //Food Hydrocolloids. -2021. -Vol.111: 106203. DOI:10.1016/j.foodhyd.2020.106203.

16. Shewry P. R. Wheat. //Journal of Experimental Botany.-2009.-Vol.60(6). - PP.1537–1553. DOI 10.1093/jxb/erp058.

17. Butt M. S., Tahir-Nadeem, M., Khan, M. K. I., Shabir, R., & Butt, M. S. Oat: unique among the cereals. //European Journal of Nutrition. -2008.- Vol.47*(*2). - PP.68–79. DOI 10.1007/s00394-008-0698-7.

18. Cui L., Xu L., Wang H., Fan X., Yan C., Zhang Y., Jiang C., Zhou T., Guo Q., Sun Y., Yang F., Li H.

(2025). Evaluation of dual-purpose triticale // Grain and forage productivity and quality under semi-arid conditions. Agronomy. -2025. -15 (4): 881. DOI 10.3390/agronomy15040881.

Сведения об авторах

Жиенбаева С.Т. - доктор технических наук, профессор, АО ”Алматинский технологический университет”, Алматы, Казахстан, e-mail: sauleturgan@mail.ru;

Изтаев А.И.-доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, АО ”Алматинский технологический университет”, Алматы, Казахстан, e-mail: auelbekking@mail.ru;

Кулажанов Т.К.- доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, АО ”Алматинский технологический университет”, Алматы, Казахстан, e-mail: tkulazhanov_atu@mail.ru;

Якияева М.А.- доктор философии (Ph.D), ассоциированный профессор, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail: yamadina88@mail.ru;

Мамыраев М.Н.- магистр, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail: maks1690@mail.ru;

Рахымбаева М.Н.- магистр, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail: makpal.rakhymbayeva@mail.ru;

Султанкул М.Б.- магистр, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail: m.sultankul@bk.ru.

Information about authors

S. Zhiyenbayeva - Doctor of Engineering Sciences, Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: sauleturgan@mail.ru;

A.Iztayev - Doctor of Engineering Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: auelbekking@mail.ru;

T.Kulazhanov - Doctor of Engineering Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: tkulazhanov_atu@mail.ru;

M.Yakiyayeva – Doctor of Philosophy (Ph.D.), Associate Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: yamadina88@mail.ru;

M.Mamyrayev - Master of Science, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: maks1690@mail.ru;

M.Rakhymbayeva - Master’ s Degree, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: makpal.rakhymbayeva@mail.ru;

M.Sultankul – Master’ s Degree, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: m.sultankul@bk.ru.

МРНТИ 65.53.33 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1382**

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВ ИЗ ПРЯНЫХ ТРАВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КУЛИНАРНЫХ ИЗДЕЛИЯХ И БЛЮДАХ

У.Ч. Чоманов, А.Б. Байзакова, Т. Жомарткызы

Алматинский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Алматы, Казахстан

Корреспондент-автор: ainel0026@gmail.com

В работе разработана и научно обоснована технология получения порошков из пряных трав отечественного производства (базилик, укроп, петрушка, сельдерей, чеснок, красный сладкий перец) для использования в кулинарных изделиях и блюдах. Исследованы режимы сушки и параметры измельчения, обеспечивающие сохранение биологически активных веществ и высокие органолептические показатели готовой продукции. Установлено, что наиболее рациональным является режим сушки в шкафу FD-48 при температуре 45°C с достижением остаточной влажности 5–12%, соответствующей требованиям нормативной документации.

Показано преимущество аналитической мельницы IKA A11 Basic по сравнению с вибрационной микромельницей Pulverisette 0 за счёт сокращения времени измельчения и увеличения доли мелкодисперсных фракций. Определён оптимальный гранулометрический состав порошков с размером частиц 0,10–0,14 мм, обеспечивающий однородную структуру и стабильные технологические свойства.

Разработанная технологическая схема включает этапы подготовки сырья, сушки, предварительного и основного измельчения, а также комплексный контроль качества по показателям влажности, фракционного состава и органолептической оценки. Полученные порошки характеризуются выраженным ароматом, насыщенным вкусом и высокими потребительскими свойствами.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования разработанной технологии для расширения ассортимента натуральных пряных порошков отечественного производства и повышения уровня глубокой переработки растительного сырья в Республике Казахстан.

Ключевые слова: пряные травы, сушка, измельчение, порошки, гранулометрический состав, технология переработки, кулинарные изделия.

КУЛИНАРЛЫҚ БҰЙЫМДАР МЕН ТАҒАМДАРДА ҚОЛДАНУҒА АРНАЛҒАН ДӘМДЕУІШ ӨСІМДІКТЕРДЕН ҰНТАҚ АЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ

У.Ч. Чоманов, А.Б. Байзакова, Т. Жомартқызы

«Қазақ өңдеу және тамақ өнеркәсібін зерттеу ғылыми-зерттеу институтының» ЖШС Алматы филиалы, Алматы, Қазақстан,
e-mail: ainel0026@gmail

Жұмыста отандық өндірістегі дәмдеуіш өсімдіктерден (базилик, аскөк, ақжелкен, балдыркөк, сарымсақ, қызыл тәтті бұрыш) кулинарлық бұйымдар мен тағамдарда қолдануға арналған ұнтақтар алу технологиясы әзірленіп, ғылыми тұрғыда негізделді. Биологиялық белсенді заттардың сақталуын және дайын өнімнің жоғары органолептикалық көрсеткіштерін қамтамасыз ететін кептіру режимдері мен ұнтақтау параметрлері зерттелді. Ең тиімді режим ретінде FD-48 шкафында 45 °C температурада кептіру және қалдық ылғалдылықты 5–12 % деңгейіне дейін жеткізу ұсынылды, бұл нормативтік құжаттардың талаптарына сәйкес келеді.

Pulverisette 0 вибрациялық микромельницасымен салыстырғанда IKA A11 Basic аналитикалық мельницасының ұнтақтау уақытының қысқалығы және ұсақ дисперсті фракциялардың үлесінің жоғары болуы тұрғысынан артықшылығы дәлелденді. Ұнтақтардың бөлшек өлшемі 0,10–0,14 мм

болатын оңтайлы гранулометриялық құрамы анықталып, өнімнің біртекті құрылымы мен тұрақты технологиялық қасиеттерін қамтамасыз ететіні көрсетілді.

Әзірленген технологиялық схема шикізатты дайындау, кептіру, алдын ала және негізгі ұнтақтау, сондай-ақ ылғалдылық, фракциялық құрам және органолептикалық бағалау бойынша сапаны кешенді бақылау кезеңдерін қамтиды. Алынған ұнтақтар айқын хош иісімен, қанық дәмімен және жоғары тұтынушылық қасиеттерімен сипатталады.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы – ұсынылған технологияны қолдану арқылы отандық табиғи дәмдеуіш ұнтақтарының ассортиментін кеңейтуге және Қазақстан Республикасында өсімдік шикізатын терең өңдеу деңгейін арттыруға мүмкіндік беруінде.

Түйін сөздер: дәмдеуіш өсімдіктер, кептіру, ұнтақтау, ұнтақтар, гранулометриялық құрам, өңдеу технологиясы, кулинарлық бұйымдар.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR PRODUCING POWDERS FROM CULINARY HERBS FOR USE IN FOOD PRODUCTS AND DISHES

U. Chomanov, A. Baizakova✉, T. Zhomartkyzy

Almaty Branch of "Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry" LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail: ainel0026@gmail.com

The study develops and scientifically substantiates a technology for producing powders from domestically grown culinary herbs (basil, dill, parsley, celery, garlic, and red sweet pepper) intended for use in culinary products and dishes. Drying regimes and grinding parameters that ensure the preservation of biologically active compounds and high organoleptic quality of the final product were investigated. It was established that the most rational drying mode is drying in an FD-48 cabinet at 45 °C with a residual moisture content of 5–12%, which complies with regulatory requirements.

The analytical mill IKA A11 Basic demonstrated significant advantages over the Pulverisette 0 vibratory micromill due to shorter grinding time and a higher proportion of fine dispersed fractions. The optimal particle size distribution of the powders was determined to be 0.10–0.14 mm, providing a homogeneous structure and stable technological properties.

The developed technological scheme includes raw material preparation, drying, preliminary and main grinding stages, as well as comprehensive quality control based on moisture content, particle size distribution, and organoleptic evaluation. The resulting powders are characterized by a pronounced aroma, rich taste, and high consumer quality.

The practical significance of the work lies in the possibility of applying the developed technology to expand the assortment of natural spice powders of domestic production and to increase the level of deep processing of plant raw materials in the Republic of Kazakhstan.

Keywords: culinary herbs, drying, grinding, powders, particle size distribution, processing technology, culinary products.

Введение. Казахстан обладает благоприятными природными и климатическими условиями для выращивания растительного сырья, в том числе лекарственных трав. Однако, несмотря на высокое биоразнообразие и значительные природные ресурсы, страна не входит в число ведущих производителей и переработчиков этой продукции. Основная причина - недостаточное техническое оснащение и отсутствие современных технологий, что ограничивает возможности глубокой переработки растительного сырья.

Выращивание лекарственных трав в Республике Казахстан носит сезонный характер, что затрудняет их круглогодичное использование в пищевой, фармацевтической и косметической промышленности. При этом лекарственные тра-

вы обладают выраженными функциональными свойствами - они богаты эфирными маслами, витаминами, антиоксидантами, макро- и микроэлементами – что делает их ценным сырьем для производства высококачественных пищевых продуктов и биологически активных добавок. [1].

Несмотря на это, переработка пряных трав в стране развита слабо. До настоящего времени большая часть такого сырья либо используется в свежем виде, либо импортируется в готовом виде в форме порошков. Согласно данным КазНИИМЭСХ, была разработана линия ЛВМ-0,5 для сушки и измельчения пряных и витаминных трав, позволяющая получать витаминно-травяную муку с сохранением биологически активных веществ [2]. В Жетысуской области реализуется инвестиционный проект по созданию завода по переработке лекарственных и пряных трав с участием немецких партнёров, что подтверждает растущий интерес к этому сегменту переработки.

Инфракрасный сушильный шкаф Basic Station 3 для ягод обеспечивает возможность сохранять привлекательный вид продукта и его полезные свойства (Рисунок 1). Инфракрасное излучение помогает уничтожить посторонние микроорганизмы и предупредить их появление, обеспечивая длительный срок хранения продукта.

Сушильные шкафы из нержавеющей стали имеют температурные датчики. Инфракрасные излучатели располагаются в верхней и нижней частях конструкции, что гарантирует равномерность сушки. Сушилки также оснащены датчиками влажности. Обдув осуществляется вентилятором с реверсивной циркуляцией воздуха. Благодаря частотному преобразователю, можно выбирать скорость воздушного потока, в зависимости от качеств обрабатываемой продукции.

Сушильный шкаф запрограммирован так, что, нагрев распределяется равномерно и непосредственно на продукт. Таким образом, шкаф не «греет воздух», что сказывается на скорости процесса и стоимости затраченной на него энергии.

В отличие от конвейерных установок для сушки, наши инфракрасные шкафы мобильны и поставляются полностью готовыми к работе – просто подключите сушилку к электричеству.

Вибрационная микромельница Pulverisette 0, показанная на Рисунке 2, является идеальной лабораторной мельницей для тонкого измельчения среднетвердых, хрупких, влажных или чувствительных к температуре проб - в сухой среде или в суспензии - а также для гомогенизации эмульсий и паст. Вибрационная микромельница Fritsch Pulverisette 0 рекомендуется для подготовки проб для RoHS-тестов (Restriction of Hazardous Substances). Вибрационная микромельница Fritsch Pulverisette 0 измельчает пробу воздействием ударов и трения, при этом под воздействием электромагнитного поля ступка приводится к вибрации, а измельчаемый материал передает вибрацию размольному шару. В начале измельчения ударным воздействием размольного шара дробятся грубые частицы. Затем мелкая фракция измельчается движением размольного шара трением при затухании вибрации. При этом можно свободно задавать ударную энергию размольного шара и Таким образом настраивать ее в соответствии с измельчаемой пробой.

Аналитическая мельница IKA A 11 Basic, представленная на Рисунке 3, имеет воздухонепроницаемый контейнер и порционную загрузку, предназначенную для выполнения процедур измельчения твердых, хрупких или неэластичных материалов с твердостью до 6 по Моосу. Возможна обработка влажных материалов. Измельчение проводится ударным действием ножей из инструментальной стали. С одной загрузкой аппарат справляется в большинстве случаев за время до 30 секунд. Высококачественная обработка материала достигается благодаря медленному движению ротора в осевом направлении. Мельница снабжена системой блокировки и сигнальным индикатором, срабатывающими, когда контейнер был не полностью закрыт или температура превысила допустимую. Исходная крупность материала может составлять 10 мм. Конечная тонкость помола находится в зависи-

мости от свойств измельчаемого материала в диапазоне 1-100 мкм.

Таким образом, развитие технологий по комплексной переработке пряных трав - включая сушки, измельчение до порошков, инкапсуляцию и стандартизацию биологически активных компонентов - является актуальной задачей. Это позволит повысить уровень продовольственной безопасности, расширить экспортный потенциал и создать новые направления в пищевой и фармацевтической промышленности.

Научной новизной является изучение в комплексе особенностей пряных трав отечественного производства, в том числе технологии сушки и измельчения до порошков.

Материалы и методы. Объектами исследования являются перец, чеснок, петрушка, укроп, сельдерей, базилик. Виброгрохот Analysette 3 Frisch, аналитическая мельница A11 basic, инфракрасная сушка Basic Station 3, сушильная печь Daihan Scientific.

При выполнении проекта будут использованы общепринятые и специальные методы определения физико-химических свойств, пищевая и биологическая ценность сырья.

В ходе исследования были использованы методики, регламентированные действующими государственными стандартами. Микробиологическая деконтаминация пряностей проводилась в соответствии с требованиями ГОСТ 33271–2015 [3]. Определение массовой доли влаги осуществляли методом отгонки по ГОСТ 28875–90 [4]. Отбор проб выполнялся согласно ГОСТ 28876–90 [5], а подготовка измельчённых проб для анализа - по ГОСТ ISO 2825-2015 [6]. Методы испытаний сушёных фруктов и овощей применяли согласно ГОСТ 34130-2017 [7], а требования к сушёным овощам — в соответствии с ГОСТ 32065-2013 [8]. Определение содержания сухих веществ и влаги в продуктах переработки плодов и овощей выполняли по ГОСТ 28561–90 [9].

Сушка пряных трав осуществлялась в камерной сушилке FD-48 с 48 полками (рисунок 1). Перед сушкой сырьё подвергали сортировке и промывке. Продолжительность сушки составляла 17–19 часов для петрушки, укропа, базилика и сельдерея, 21 час для чеснока, нарезанного тонкими ломтиками, и 24 часа для красного перца. Все образцы были высушены в соответствии с установленными нормативными требованиями, без признаков пересушивания и деградации качества.



а) **б)**

Рис.1 - Оборудования для сушки: а) сушильная камера FD-48; б) инфракрасный сушильный шкаф Basic Station 3



Рис.2 - Вибрационная микромельница Pulverisette 0

Аналитическая мельница IKA A 11 Basic, представленная на Рисунке 3, имеет воздухонепроницаемый контейнер и порционную загрузку, предназначенную для выполнения процедур измельчения твердых, хрупких или неэластичных материалов с твердостью до 6 по Моосу. Возможна обработка влажных материалов. Измельчение проводится ударным действием ножей из инструментальной стали. С одной загрузкой аппарат справляется в большинстве случаев за время до 30 секунд. Высококачественная обработка материала достигается благодаря медленному движению ротора в осевом направлении. Мельница снабжена системой блокировки и сигнальным индикатором, срабатывающими, когда контейнер был не полностью закрыт или температура превысила допустимую. Исходная крупность материала может составлять 10 мм. Конечная тонкость помола находится в зависимости от свойств измельчаемого материала в диапазоне 1-100 мкм.



Рис.3 - Аналитическая мельница IKA A 11 Basic

Показанный на Рисунке 4 высокопроизводительный вибрационный грохот Fritsch Analysette 3 Pro предоставляет все, что нужно в лаборатории для быстрого определения количественного распределения размеров частиц. В качестве подбрасывающего грохота с электромагнитным приводом она приводит просеивающую башню в контролируемую вертикальную вибрацию и является идеальным решением для количества просеиваемого материала до 2 кг и диапазона измерения от 20 мкм до 63 мкм. Fritsch Analysette 3 Pro великолепно подходит для быстрого контроля качества при приемке или отгрузке товара, очень удобен в обращении, малошумный, прочный и долговечный.



Рис.4 - Вибрационный грохот Fritsch Analysette 3 Pro с многоярусными ситами

Рассев на вибрационном грохоте Fritsch Analysette 3 Pro представляет собой собранный в корпусе набор сит, осуществляющий сортировку продуктов измельчения по крупности. В них закреплены многоярусные сита, размер ячеек которых уменьшается сверху вниз (0,03; 0,028; 0,02; 0, 018 и 0,014) и придается им колебательное движение амплитудой 2,5-3.

По окончании просеивания остаток на каждом из сит взвешивают отдельно на технических весах. Продукты измельчения, прошедшие через сито, называются проходом, а не прошедшие - сходом. Нижнее сито служит для выделения порошка. Получаемые на рассевах продукты достаточно однородны по размерам. Результатом уменьшения измельченных продуктов видно по увеличению больших количеств мелких фракций измельченной массы через сито. Чем мень-

ше размер сито, то при этом наблюдается тенденция изменения текстуры порошка в сторону более нежной структуры. На степень измельчения сильно влияет вид и природа измельченного сырья. Использование при измельчении в мельнице ячеек решетки с меньшим диаметром отверстий приводит к выравниванию гранулометрического состава измельчаемого сырья с преобладанием большого количества мелких фракций.

Качество просеивания. Данные показывают, что материал, измельчённый в аналитической мельнице, лучше проходит через сито с различными фракциями (0,3 мм – 0,1 мм). Например, процент мелких частиц (≤0,14 мм) в аналитической мельнице значительно выше, что указывает на более тонкий и равномерный помол. В случае вибрационной мельницы наблюдается больший остаток на крупных ситах, что подтверждает её менее эффективное измельчение.

Обсуждение и результаты. *Изучение и подбор сушильных установок для сушки пряных трав. Определение режимов и параметров сушки пряных трав.*

Благодаря быстрой сушке сырья в соответствующих условиях можно сохранить содержание биологически активных веществ на том же уровне, как и в свежем растении. Неправильная сушка может полностью лишить растительное сырье активных веществ. Сушка сырья проводится в основном весной или летом чаще всего в сушилках, в которых используются нормальная температура и естественное движение воздуха. В свежем растении содержится 60–80% влаги. Снижение количества влаги до 10–14% останавливает биохимические процессы, приводящие к разрушению биологически активных веществ в растении. Основная задача сушки - быстрое удаление из сырья влаги, в результате чего прекращается жизнедеятельность клеток и ферментов. Чем быстрее высушивается сырье, тем выше его качество [9].

Установлено, что при нагревании растений до температуры 50°С деятельность ферментов значительно ослабевает, а нередко совсем прекращается, но распада большинства биологически активных веществ не происходит. Поэтому сушку многих видов лекарственного сырья следует вести сразу же после сбора при температуре от 40 до 50°С.

Характер сушки зависит от вида сырья, содержания в нем действующих веществ [10].

Характер сушки зависит от вида сырья, содержания в нем действующих веществ. Сырье, содержащее эфирные масла, сушат медленно, при температуре не выше 30-35°С, т.к. при более высокой температуре эти масла улетучиваются. При наличии гликозидов сырье необходимо сушить при температуре 50-60°С, при которой быстро прекращается деятельность ферментов, разрушающих гликозиды. При наличии флавоноидов сырье сушат при температуре 70-80°С. Сырье, содержащее аскорбиновую кислоту, сушат при температуре 80-100°С. Листья, цветки, стебли и подземные части растений, содержащие эфирные масла и гликозиды, сушат, защищая их от солнечного света. Хорошо высушенное растение всегда содержит некоторое количество гигроскопической влаги - от 8 до 15%, что не отражается на ее качестве. Сушка считается законченной тогда, когда корни, корневища и кора при сгибании не гнутся, а с треском ломаются, листья и цветки растираются в порошок, а сочные плоды, сжатые в руке, не склеиваются в комки и не мажутся. При сушке корней и корневищ выход воздушно сухого сырья составляет 20-30%, сочных трав (белена, белладонна) - 20-25, сухих трав - 35-50, листьев сочных - 15-20, листьев кожистых - 45-50, цветков - 15-20, плодов сочных - 13-18, плодов сухих - 25-35, коры - 40% [11].

Для получения порошков из пряных трав определяли режимы и параметры сушки. В результате экспериментальных исследований было установлено, что температура сушки существенно влияет на кинетику удаления влаги и сохранение биологически активных веществ в растительном сырье, таком как красный перец, укроп, петрушка, базилик, чеснок и сельдерей. В Таблице 1 показаны изменения влажности пряных трав (красный перец, укроп, петрушка, базилик, чеснок, сельдерей) каждые 3 часа в процессе сушки.

Таблица 1 - Изменение влажности пряных трав (красный перец, укроп, петрушка, базилик, чеснок, сельдерей) каждые 3 часа в процессе сушки

Виды сушки	Сырье	Контроль-ный вариант	Изменение влажности (%) каждые 3 часа при температуре 30 C^0							
			3 час	6 час	9 час	12 час	15 час	18 час	21 час	24 час
Инфракрасная сушка Basic Station 3	Красный перец	93	87	72	65	53	47	43	38	33
	Укроп	95	85	76	64	49	37	28	23	17
	Петрушка	87	77	65	54	48	35	27	21	15
	Базилик	91	78	68	57	49	37	30	24	22
	Чеснок	62	57	50	45	39	35	30	25	24
	Сельдерей	95	90	82	75	65	59	45	37	28
Сушильный шкаф FD-48	Красный перец	93	85	70	62	50	45	40	35	30
	Укроп	95	80	65	50	40	32	23	19	14
	Петрушка	87	75	63	51	46	32	22	19	13
	Базилик	91	78	66	55	45	35	28	23	18
	Чеснок	62	55	48	42	37	33	29	26	24
	Сельдерей	95	88	80	70	60	50	40	32	25
Изменение влажности (%) каждые 3 часа при температуре 45 C^0										
Инфракрасная сушка Basic Station 3	Красный перец	93	85	74	66	59	57	45	35	25
	Укроп	95	76	58	35	26	19	14	10	4
	Петрушка	87	72	55	34	21	18	13	9	2
	Базилик	91	75	60	35	25	15	10	7	3
	Чеснок	62	57	48	33	29	25	19	12	5
	Сельдерей	95	75	55	35	29	23	15	10	4
Сушильный шкаф FD-48	Красный перец	93	82	70	62	55	43	31	21	12
	Укроп	95	72	48	25	15	11	7	3	1
	Петрушка	87	65	40	24	15	11	6	2	0,5
	Базилик	91	60	40	25	15	11	7	3	1
	Чеснок	62	55	45	30	25	19	15	10	4
	Сельдерей	95	70	50	30	27	18	12	7	3
Изменение влажности (%) каждые 3 часа при температуре 55 C^0										

Инфракрасная сушка Basic Station 3	Красный перец	93	75	55	35	15	10	5	2	0,5
	Укроп	95	72	52	29	15	10	4	2	0,25
	Петрушка	87	70	51	35	23	12	7	3	1
	Базилик	91	72	53	35	25	13	8	4	2
	Чеснок	62	60	47	35	22	14	10	5	2
	Сельдерей	95	76	55	34	15	9	6	3	1
Сушильный шкаф FD-48	Красный перец	93	72	52	32	12	8	5	2	0,25
	Укроп	95	68	50	26	11	7	4	2	0,5
	Петрушка	87	66	47	28	10	7	3	1	0,25
	Базилик	91	70	50	30	10	8	5	3	1
	Чеснок	62	58	45	33	20	12	7	3	1
	Сельдерей	95	74	53	32	10	7	5	2	0,5

По результатам Таблицы 1, видно, что при сушке пряных трав на оборудовании Basic Station через 24 часа остаточная влажность достигла минимальных значений, например,: чеснок -2%, красный перец -0,5%, базилик -2%, укроп -0,25%, петрушка -1%, сельдерей -1%. Однако, такие показатели выходят за пределы допустимой нормы по ГОСТ 33271-2015 [5] (5–12%) и свидетельствуют о пересушивании, что может привести к потере летучих компонентов, в том числе эфирных масел, витаминов и других биологически активных веществ.

Сушка пряных трав на оборудовании Basic Station обеспечивает более быстрое снижение влажности, особенно при температуре 55 °C, приводит к избыточному снижению влажности за 24 часа, что может негативно сказаться на качестве и функциональной ценности готового продукта.

Также проводили сушку пряных трав в сушильном шкафу FD-48 при температуре 45 °C обеспечивая равномерное обезвоживание без перегрева (Рисунок 5-6). Остаточная влажность у следующих образцов составила: чеснок -10% (через 21 ч), красный перец -12% (24 ч), базилик -7% (18 ч), укроп -7% (18 ч), петрушка -6% (18 ч), сельдерей -7% (21 ч). Эти значения являются оптимальными вариантами, так как соответствуют ГОСТ у 33271-2015 [5], при котором сохраняются: структура, цвет, аромат и функциональные свойства сырья.

Согласно литературным данным, температурный диапазон 40-50 °C считается наиболее безопасным для большинства видов лекарственного и пряного растительного сырья: при 50 °C подавляется активность ферментов, однако распад термолабильных веществ не происходит. Также отмечается, что при сушке сырья с эфирными маслами температура не должна превышать 35 °C, а при наличии гликозидов может требоваться 50-60 °C [12]. Поэтому сушка пряных трав при режиме 45 °C представляет собой оптимальным вариантом, обеспечивающий минимальные потери биологически активных компонентов и достижение нормативных показателей.

Таким образом, наиболее рациональным признан режим сушки в шкафу FD-48 при 45°C. Он обеспечивает достижение нормативной влажности (5-12%) без пересушивания, сохранение биологически активных соединений и эфирных масел, а также приемлемую продолжительность процесса - 17-24 ч в зависимости от сырья.

Изучение и подбор измельчающих установок для измельчения пряных трав.



Рис.5 - Высушенные пряные травы на в сушильном шкафу FD-48 (перец, петрушка, чеснок)



Рис.6 - Высушенные пряные травы в сушильном шкафу FD-48 (укроп, сельдерей, базилик)

Порошки из пряных трав - это измельчённые до мелкой фракции высушенные ароматические растения, широко применяемые в кулинарии, медицине и косметологии. Они сохраняют насыщенный вкус, аромат и полезные свойства свежих трав, при этом обладают удобной формой для хранения и использования. Благодаря натуральному происхождению и богатому составу эфирных масел, витаминов и биологически активных веществ, такие порошки используются как натуральные приправы, лечебные средства и компоненты для ухода за телом. Их популярность обусловлена универсальностью, долговечностью и способностью усиливать как вкусовые, так и оздоровительные свойства пищи и продуктов ухода. Использование пряных трав в питании не только улучшает вкусовые качества блюд, но и обеспечивает организм незаменимыми аминокислотами, что делает их полезным дополнением к сбалансированному рациону, особенно для тех, кто придерживается растительного питания.

Для получения порошков из пряных трав изучили процесс измельчения базилика, укропа, петрушки, сельдерея, красного перца и чеснока с применением механического метода. Степень измельчения сыпучих и порошкообразных материалов является одной из важнейших характе-

ристик определяющей их технологические качества.

Для изучения и подбора измельчающих установок для измельчения пряных трав исследовали на мельницах: аналитическая мельница марки IKA и вибрационный грохот марки Pulverisette 0. Основное внимание уделялось качеству помола, эффективности просеивания и скорости производства конечного продукта, что сказывалось на качестве порошка. В Таблицах 2 и 3 показаны продолжительность измельчения пряных трав на двух мельницах (аналитическая мельница марки IKA, вибрационный грохот марки Pulverisette 0).

Таблица 2 - Измельчение на вибрационной микромельнице

Вибрационная микромельница	**Кр перец**	**Чеснок**	**Укроп**	**Петрушка**	**Базилик**	**Сельдерей**
Время /мин	30	30	15	15	15	15
Амплитуда	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2

Таблица 3 - Измельчение на аналитической мельнице

Аналитическая мельница	**Кр перец**	**Чеснок**	**Укроп**	**Петрушка**	**Базилик**	**Сельдерей**
Время/ мин	5	5	3	3	3	3
Температура	40	40	25	25	25	25

По результатам Таблиц 2-3 показано, что измельчение на вибрационном грохоте продолжительность процесса составил 15-30 минут, а на аналитической мельнице тот же процесс составил 3-5 минут, что демонстрирует её значительное преимущество в скорости.

Отмечено, что важной характеристикой массы, полученной после измельчения, является ее фракционный состав, отражающий распределение частиц по размерам (диаметрам) и методом определения гранулометрического состава является ситовой анализ. Выбор гранулометрического состава является важной задачей при получении качественных продуктов. От размера частиц исходной смеси зависит качество порошка и соответственно качество готового продукта. Измельченные продукты просеивали на рассевах.

Далее изучили гранулометрический состав порошков из пряных трав на вибрационном грохоте Fritch Analysette 3 представляющий собой собранный в корпусе набор сит, осуществляющий сортировку продуктов измельчения по крупности.

В них закреплены многоярусные сита, размер ячеек которых уменьшается сверху вниз (0,03; 0,028; 0,02; 0, 018 и 0,014) и придается им колебательное движение амплитудой 2,5-3.

По окончании просеивания остаток на каждом из сит взвешивали отдельно на технических весах. Продукты измельчения, прошедшие через сито, называются проходом, а не прошедшие - сходом. Нижнее сито служит для выделения порошка. Получаемые на рассевах продукты достаточно однородны по размерам. Результатом уменьшения измельченных продуктов видно по увеличению больших количеств мелких фракций измельченной массы через сито. Чем меньше размер сито, то при этом наблюдается тенденция изменения текстуры порошка в сторону более нежной структуры. На степень измельчения сильно влияет вид и природа измельченного сы-

рья. Использование при измельчении в мельнице ячеек решетки с меньшим диаметром отверстий приводит к выравниванию гранулометрического состава измельчаемого сырья с преобладанием большого количества мелких фракций.

В Таблицах 4, 5 показаны гранулометрический состав после измельчения на двух мельницах (аналитическая мельница марки IKA и вибрационный грохот марки Pulverisette 0.

Таблица 4 - Гранулометрический состав после измельчения пряных трав на вибрационной микромельнице Pulverisette 0 при продолжительности 5 мин

Показатели	**Диаметр отверстий сито, мм**					
	0,3	0,28	0,2	0,18	0,14	0,1
	Рассев, %					
Красный перец	15	15	13	10	20	27
Укроп	3	5	7	15	20	50
Петрушка	3	5	7	15	20	50
Базилик	4	6	8	20	25	37
Чеснок	15	15	15	10	30	15
Сельдерей	3	5	7	15	20	50

В Таблице 4 приведены показатели рассева (%) для различных пряных трав (красный перец, укроп, петрушка, базилик, чеснок, сельдерей), полученные с использованием вибрационной микромельницы Pulverisette 0 в зависимости от диаметра отверстий сита (от 0,3 до 0,1 мм).

По мере уменьшения диаметра отверстий наблюдается тенденция к увеличению процента рассева. При наиболее крупных отверстиях -0,3 мм и 0,28 мм, доля мелких частиц относительно невысока. Например, для красного перца рассеянные фракции составляют 15% и 15%, для укропа -3% и 5%, для петрушки -3% и 5%, для базилика -4% и 6%, для чеснока -15% и 15%, для сельдерея -3% и 5% соответственно, что указывает на сохранение большей части сырья в виде крупных фракций.

При использовании сит с наименьшими отверстиями -0,1 мм, процент рассева значительно возрастает для всех образцов: у укропа, петрушки и сельдерея он достигает 50%, у базилика -37%, у красного перца -27%, а у чеснока -15%. Это свидетельствует о получении более тонкого помола.

Различия между травами очевидны: укроп, петрушка и сельдерей демонстрируют резкий рост процента рассева при уменьшении размера отверстий (с 3-5% до 50%), тогда как красный перец и чеснок показывают менее выраженные изменения (например, у чеснока рассеянная фракция остаётся стабильной -15% при 0,3 мм и 0,1 мм), что может быть связано с их физико-химическими особенностями - например, различной плотностью, влажностью или структурой клеточных стенок.

Таблица 5 содержит данные по рассеву (%) для тех же пряных трав - красного перца, укропа, петрушки, базилика, чеснока и сельдерея, измельчённых с использованием аналитической мельницы IKA A11 Basic. Измельчение проводилось в течение 5 минут.

В отличие от результатов, полученных на вибрационной микромельнице (Таблица 5), здесь наблюдаются более высокие значения процента рассева по всем диапазонам сит, что свидетельствует о более интенсивном и эффективном помоле. Например, при самом мелком сите с диаметром 0,1 мм процент рассева составляет: у

укропа и петрушки -56%, у сельдерея -60%, у базилика -47%, у чеснока -43%, у красного перца -37%,

что превышает значения, полученные при использовании микромельницы Pulverisette 0.

Таблица 5 - Гранулометрический состав после измельчения пряных трав на Аналитической мельнице, 200 г, при продолжительности 5 мин

Показатели	Диаметр отверстий сито, мм					
	0,3	0,28	0,2	0,18	0,14	0,1
	Рассев, %					
Красный перец	5	5	3	10	40	37
Укроп	1	3	5	15	20	56
Петрушка	1	3	5	15	20	56
Базилик	3	5	7	15	23	47
Чеснок	7	5	5	10	30	43
Сельдерей	1	5	7	15	18	60

Аналогично сохраняется и тенденция увеличения рассева при уменьшении диаметра отверстий сит. Так, у красного перца при диаметре 0,3 мм процент рассева составляет 5%, тогда как при 0,1 мм -уже 37%. У базилика рост показателей рассева происходит от 3% (0,3 мм) до 47% (0,1 мм). У чеснока - от 7% до 43%, у укропа и петрушки - от 1% до 56%, у сельдерея - от 1% до 60% соответственно.

Сравнительный анализ результатов рассева пряных трав, измельчённых на вибрационной микромельнице Pulverisette 0 и аналитической мельнице IKA A11 Basic, показал значительную разницу в степени помола в зависимости от типа оборудования. При использовании Pulverisette 0 максимальные значения процента рассева при диаметре сита 0,1 мм составили: укроп, петрушка и сельдерей - по 50%, базилик - 37%, красный перец - 27%, чеснок - 15%. В то же время на мельнице IKA A11 Basic рассеянные фракции при том же диаметре сита значительно выше: сельдерей - 60%, укроп и петрушка - по 56%, базилик - 47%, чеснок - 43%, красный перец - 37%.

Таким образом, наиболее рациональным для получения тонкодисперсных порошков признано использование аналитической мельницы IKA A11 Basic, позволяющей сократить время измельчения и повысить долю мелких фракций.

Разработана технология получения порошков из пряных трав (базилик, укроп, петрушка, красный сладкий перец, чеснок, сельдерей), включающая семь последовательных этапов (Рисунок 7).

Согласно технологической схеме, представленной на Рисунке 7:

На первом этапе осуществляли приёмку, мойку и сортировку сырья по качественным показателям для удаления механических примесей и сырья с дефектами.

На втором этапе проводили сушку растительного сырья в камерном сушильном шкафу при температуре 43°С до достижения остаточной влажности 5-12%: до достижения показателей согласно ГОСТ 32065–2013 «Овощи сушёные. Общие технические условия» [4], с требованиями ГОСТ 34130–2017, раздел 10 [7] и ГОСТ 28875-90 [4], пункт 3.3. Продолжительность сушки: укроп, базилик, петрушка и сельдерей – 17-19 ч, чеснок - 21 ч, красный сладкий перец - 30 ч.

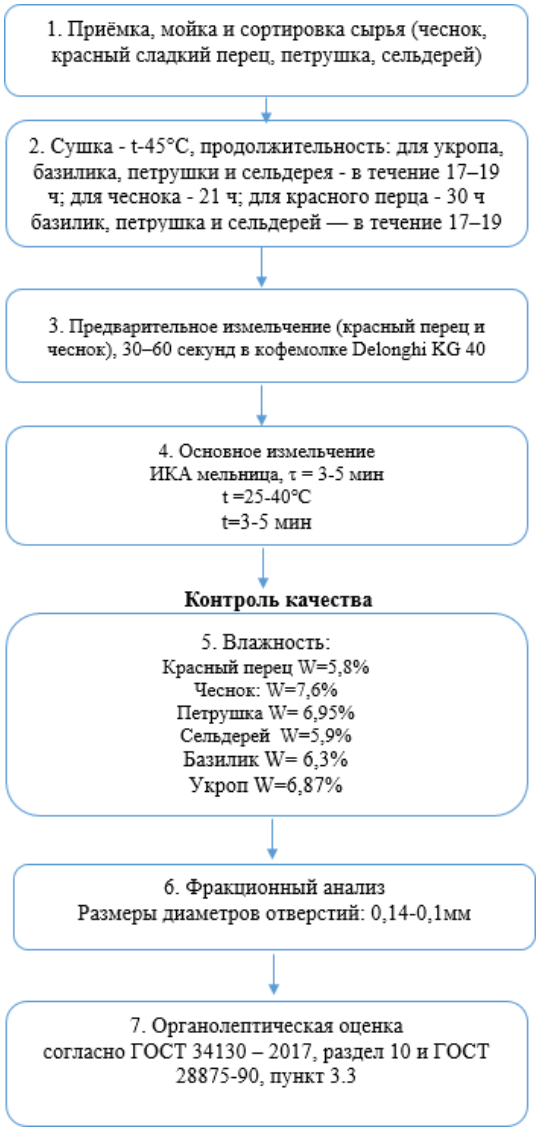


Рис.7 - Технологическая схема получения порошков из пряных трав (чеснок, сельдерей, базилик, красный перец, укроп, петрушка)

На третьем этапе чеснок и красный перец подвергались предварительному грубому помолу в бытовой кофемолке Delonghi KG 40 в течение 30-60 секунд.

На четвёртом этапе выполнялось основное измельчение в мельнице ИКА при температуре 25-40 °C в течение 3-5 мин, что обеспечивало получение мелкодисперсного порошка с однородным распределением частиц и минимальными потерями летучих компонентов (Рисунок 8).

С пятого по седьмой этапы осуществляли контроль качества порошков. Пятый этап - измерение влажности готовых порошков. Контроль массовой доли влаги выполнялся по ГОСТ 28561–90.

Шестой этап - фракционный анализ, проводимый с использованием сит с диаметром отверстий 0,10–0,14 мм для контроля равномерности помола и соответствия требованиям стандартов на пряные порошки.

На седьмом этапе проводилась органолептическая оценка готовых порошков в соответствии с требованиями ГОСТ 34130–2017 [7] и ГОСТ 28875-90 [4], определением внешнего вида, цвета, запаха, вкуса и консистенции (Таблица 6).

Таблица 6 - Органолептическая оценка порошков пряных трав (чеснок, сельдерей, базилик, красный перец, укроп, петрушка)

Образец	Цвет	Вкус	Запах	Консистенция	Средняя оценка
Чеснок	4	5	5	4	4,5
Базилик	4	4	4	5	4,25
Сельдерей	4	4	4	4	4,0
Укроп	4	4	4	4	4,0
Петрушка	4	4	4	4	4,0
Красный перец	5	5	5	4	4,75

Измельчённые порошки из пряных трав представленные к оценке качественных показателей показаны на рисунке 9.



(а)



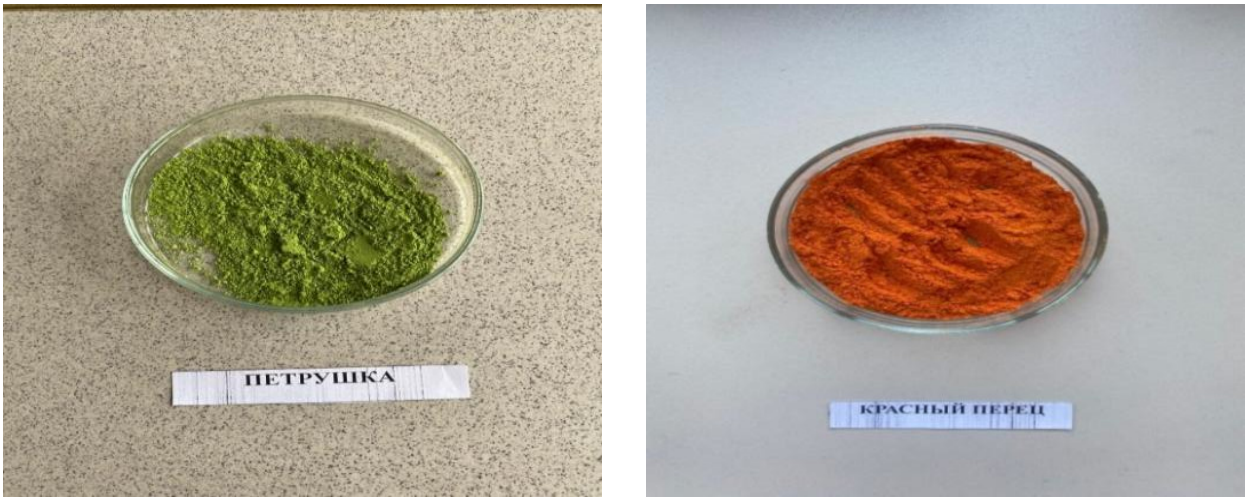
(б)



(в)



(г)



(д) **(е)**

Рис.8 - Измельченные порошки из пряных трав. а - чеснок, б - базилик, в – сельдерей, г - укроп, д – петрушка, е - красный перец

Результаты дегустации показывают, что порошок красного перца получил наивысшие оценки по вкусу и аромату, что подтверждает его доминирующее влияние в смеси. Другие порошки также получили хорошие оценки (4-4,5 балла), обеспечивая гармоничное сочетание органолептических свойств (Таблица 6, Рисунок 8).

Таким образом, разработана 1 (одна) технология получения порошков из пряных трав обеспечивающая получение продукта с однородной структурой, стабильной влажностью и равномерным фракционным составом. Оптимальные режимы сушки при 43°C и последовательное измельчение обеспечили сохранение характерных органолептических свойств исходного сырья. Контроль качества, проведённый по показателям массовой доли влаги, фракционного состава и органолептической оценки в соответствии с требованиями ГОСТ 28561–90 и ГОСТ 34130–2017, подтвердил пригодность продукции для использования в кулинарных изделиях и блюдах.

Выводы. В данном исследовании была разработана и научно обоснована технология производства порошков из отечественных трав (базилик, укроп, петрушка, чеснок, красный болгарский перец и сельдерей) для использования в кулинарных продуктах и блюдах.

Оптимальным режимом сушки оказалась сушильная печь FD-48 при температуре 45°C, обеспечивающая остаточную влажность 5–12%, что позволяет сохранить биологически активные вещества, эфирные масла, органолептические свойства и структуру сырья. Измельчение в аналитической мельнице IKA A11 Basic обеспечивает получение мелкодисперсного порошка с равномерным распределением частиц по размерам (0,10–0,14 мм) за минимальное время (3-5 мин), значительно превосходя по эффективности вибрационную микромельницу Pulverisette 0.

Разработанная технологическая схема включает в себя приемку, сушку, предварительное и окончательное измельчение, контроль влажности, определение гранулометрического состава и органолептическую оценку, обеспечивая стабильное качество готового продукта. Органолептическая оценка порошков подтвердила сохранение вкуса, аромата и консистенции, а дегустация выявила высокие потребительские качества. Таким образом, разработанная технология позволяет производить высококачественные пряные порошки с однородной структурой и стабильными технологическими и органолептическими свойствами, пригодные для использования в кулинарии и пищевой промышленности,

повышая добавленную стоимость растительного сырья и расширяя ассортимент отечественной продукции.

Финансирование. *Данные исследования выполнялись в рамках проекта «Технология производства порошков и экстрактов из пряных трав для кулинарных изделий и блюд», программы ПЦФ МНВО РК на 2024-2026 годы «Разработка технологии приготовления полезных продуктов питания для ежедневного рациона, обогащенных природными антиоксидантами и биологически активными веществами» ИРН BR24993031.*

Литература

1. Лукин Н. Д., Бородина З. М., Папахин А.А., Шаталова О.В., Кривандин А.В. Исследование действия амилолитических ферментов на нативный крахмал различных видов в гетерогенной среде // Достижения науки и техники АПК. -2013. -№ 10. -С.62–64.

2. Muyumba N. W., Mutombo S. C., Sheridan H., et al. Quality control of herbal drugs and preparations: The methods of analysis, their relevance and applications // Talanta Open. -2021. -Vol.4:100070. DOI: 10.1016/j.talo.2021.100070.

3. ГОСТ 33271–2015. Пряности сухие, травы и приправы овощные. Руководство по облучению в целях борьбы с патогенными и другими микроорганизмами /Стандартинформ. - 2015.

4. ГОСТ 28875–90. Пряности. Приемка и методы анализа (определение влаги методом отгонки)/ Стандартинформ. -1990.

5. ГОСТ 28876–90. Пряности и приправы. Отбор проб/Стандартинформ. -1990.

6. ГОСТ ISO 2825–2015. Пряности и приправы. Приготовление измельченной пробы для анализа/Стандартинформ. -2015.

7. ГОСТ 34130–2017. Фрукты и овощи сушеные. Методы испытаний/ Стандартинформ. -2017.

8. ГОСТ 32065–2013. Овощи сушёные. Общие технические условия /Стандартинформ. -2013.

9. ГОСТ 28561–90. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ или влаги/Стандартинформ. -1990.

10. Azmin S.N.H.M., Manan Z.A., Alwi Sh.R.W., et al. Herbal Processing and Extraction Technologies // Separation & Purification Reviews. -2016. -Vol.45(4). -P.305-320. DOI:10.1080/15422119.2016.1145395.

11. Гулаков А.Н., Рыкова Н. Д. Пряные травы: распространение и применение в кулинарии // Проблемы интенсивного развития животноводства и их решение: сборник научных трудов международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученыхю: Брянский государственный аграрный университет. -2021. -С.65–69.

12. Ueda J. M., Morales P., Fernández-Ruiz V., Ferreira A., Barros L., Carocho M., Heleno S. A. Powdered Foods: Structure, Processing, and Challenges: A Review // Applied Sciences. -2023. - Vol.13(22): 12496. DOI: 10.3390/app132212496.

References

1. Lukin N. D., Borodina Z. M., Papahin A.A., Shatalova O.V., Krivandin A.V. Issledovanie dejstvija amiloliticheskih fermentov na nativnyj krahmal razlichnyh vidov v geterogennoj srede // Dostizhenija nauki i tehniki APK. -2013. -№ 10. -S.62–64. [in Russian]

2. Muyumba N. W., Mutombo S. C., Sheridan H. Et al. Quality control of herbal drugs and preparations: The methods of analysis, their relevance and applications // Talanta Open. -2021. -Vol.4:100070. DOI: 10.1016/j.talo.2021.100070.

3. GOST 33271-2015. Prjanosti suhie, travy i pripravy ovoshhnye. Rukovodstvo po oblucheniju v celjah bor’ by s patogennymi i drugimi mikroorganizmami /Standartinform. - 2015. [in Russian]

4. GOST 28875–90. Prjanosti. Priemka i metody analiza (opredelenie vlagi metodom otgonki)/ Standartinform. -1990. [in Russian]

5. GOST 28876–90. Prjanosti i pripravy. Otbor prob/Standartinform. -1990. [in Russian]

6. GOST ISO 2825-2015. Prjanosti i pripravy. Prigotovlenie izmel’ chennoj proby dlja analiza/Standartinform. -2015. [in Russian]

7. GOST 34130–2017. Frukty i ovoshhi sushenye. Metody ispytanij/ Standartinform. -2017. [in Russian]

8. GOST 32065–2013. Ovoshhi sushjonye. Obshhie tehnicheskie uslovija /Standartinform. -2013. [in Russian]

9. GOST 28561–90. Produkty pererabotki plodov i ovoshhej. Metody opredelenija suhih veshhestv ili vlagi/Standartinform. -1990. [in Russian]

10. Azmin S.N.H.M., Manan Z.A., Alwi Sh.R.W., et al. Herbal Processing and Extraction Technologies // Separation & Purification Reviews. -2016. -Vol.45(4). -P.305-320. DOI:10.1080/15422119.2016.1145395.

11. Gulakov A.N., Rykova N. D. Prjanye travy: rasprostranenie i primenenie v kulinarii // Problemy intensivnogo razvitija zhivotnovodstva i ih reshenie: sbornik nauchnyh trudov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyhju: Brjanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. -2021. -S. 65–69. [in Russian]

12. Ueda J. M., Morales P., Fernández-Ruiz V., Ferreira A., Barros L., Carocho M., Heleno S. A. Powdered Foods: Structure, Processing, and Challenges: A Review // Applied Sciences. -2023. - Vol.13(22): 12496. DOI: 10.3390/app132212496.

Сведения об авторах

Чоманов У.Ч. - доктор технических наук, Алматинский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Алматы, Казахстан, e-mail: chomanov_u@mail.ru;

Байзакова А.Б. - магистр естественных наук, научный сотрудник, Алматинский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Алматы, Казахстан, e-mail: ainel0026@gmail.com;

Жомарткызы Т. - магистр технических наук, старший научный сотрудник, Филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Алматы, Казахстан, e-mail: togzhan.kokteubaeva@mail.ru.

Information about the authors

Chomanov U.Ch. - doctor of technical sciences, Almaty Branch of “Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry” LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail: chomanov@mail.ru;

Baizakova A.B. - master of natural sciences, research fellow, Almaty Branch of “Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry” LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail: ainel0026@gmail.com;

Zhomartkyzy T. - master of technical sciences, Researcher of LLP “Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry”, Almaty, Kazakhstan, e-mail: togzhan.kokteubaeva@mail.ru.

МРНТИ 65.09.03 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1383**

РАЗРАБОТКА СОСТАВА БАДА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЧИСТОГО ИНУЛИНА

Г.Е. Жумалиева, А.К. Шоман, А. Огазова
ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Алматы, Казахстан
Корреспондент-автор: guljan_7171@mail.ru, shoman_a@mail.ru

В статье представлены исследования биологически активной добавки (БАД) на основе инулина, пророщенных зерновых культур (овса и ячменя) и корня солодки, предназначенной для профилактики эндокринных и метаболических нарушений, в том числе сахарного диабета. Обоснована целесообразность замены растительного сырья - клубней топинамбура - на очищенный инулин с целью повышения его содержания и пребиотической активности в составе продукта. Экспериментально установлено, что выход чистого инулина из клубней топинамбура составил 56,5%. Разработаны четыре варианта рецептур БАДов с различным соотношением компонентов и содержанием инулина от 43 до 53%.

Проведена оценка органолептических, физико-химических, и микробиологических показателей в соответствии с действующими ГОСТами. Показано, что все образцы соответствуют нормативным требованиям по качеству и безопасности. Установлено, что образец с содержанием инулина 53% обладает наилучшими органолептическими и технологическими свойствами, высокой водоудерживающей способностью и оптимальной сыпучестью.

Исследуемые композиции характеризуются значительным содержанием пищевых волокон, витаминов группы В, витаминов С и Е, а также сбалансированным аминокислотным составом. Полученные результаты подтверждают высокую биологическую и функциональную ценность разработанных БАДов. Разработанный биологически активная добавка обеспечивает потребность в инулине, проявляет выраженные пребиотические свойства, способствует поддержанию метаболических процессов и оказывает иммуномодулирующее действие.

Ключевые слова: инулин, клубни топинамбура, биологически активная добавка, корень солодки, пророщенный овес, пророщенный ячмень.

ТАЗА ИНУЛИНДІ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ ҚОСПАНЫҢ ҚҰРАМЫН ӘЗІРЛЕУ

Г.Е. Жумалиева, Ә.К. Шоман, А. Огазова
«Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсібі ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан, e-mail: guljan_7171@mail.ru, shoman_a@mail.ru

Мақалада эндокриндік және метаболикалық бұзылыстардың, соның ішінде қант диабетінің алдын алуға арналған инулин, өнген дәнді дақылдар (сұлы мен арпа) және мия тамыры негізіндегі биологиялық белсенді қоспаны (ББҚ) зерттеу нәтижелері ұсынылған. Өнім құрамындағы инулиннің мөлшерін және оның пребиотикалық белсенділігін арттыру мақсатында өсімдік шикізаты - топинамбур түйнектерін - тазартылған инулинге алмастырудың орындылығы негізделген. Топинамбур түйнектерінен таза инулиннің шығымы 56,5% екені тәжірибелік жолмен анықталды. Құрамындағы инулин мөлшері 43-53% аралығында болатын, компоненттердің әртүрлі арақатынасына ие ББҚ-ның төрт рецептуралық нұсқасы әзірленді.

Қолданыстағы ГОСТ талаптарына сәйкес органолептикалық, физика-химиялық және микробиологиялық көрсеткіштерге бағалау жүргізілді. Барлық үлгілердің сапа мен қауіпсіздік бойынша нормативтік талаптарға сәйкес келетіні анықталды. Құрамында 53% инулин бар үлгі ең жақсы органолептикалық және технологиялық қасиеттерге, жоғары су ұстау қабілетіне және оңтайлы сусымалдылыққа ие болды.

Зерттелген композициялар тағамдық талшықтарға, В тобы витаминдеріне, С және Е витаминдеріне бай, сондай-ақ аминқышқылдық құрамы теңдестірілген. Алынған нәтижелер әзірленген биологиялық белсенді қоспалардың жоғары биологиялық және функционалдық құндылығын растайды. Әзірленген биологиялық белсенді қоспа ағзаның инулинге деген қажеттілігін қамтамасыз етеді, айқын пребиотикалық қасиеттерге ие, метаболикалық үдерістерді қолдайды және иммуномодуляциялық әсер көрсетеді.

Түйін сөздер: инулин, топинамбур түйнектері, биологиялық белсенді қоспа, мия тамыры, өнген сұлы, өнген арпа.

DEVELOPMENT OF THE COMPOSITION OF A DIETARY SUPPLEMENT USING PURE INULIN

G.E. Zhumalieva✉, A.K. Shoman✉, A Ogazova

LLC "Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry", Almaty, Kazakhstan, e-mail: guljan_7171@mail.ru, shoman_a@mail.ru

The article presents the results of studies on a dietary supplement (DS) based on inulin, sprouted cereal grains (oats and barley), and licorice root, intended for the prevention of endocrine and metabolic disorders, including diabetes mellitus. The feasibility of replacing plant raw Materials-Jerusalem artichoke tubers-with purified inulin in order to increase its content and prebiotic activity in the product composition is substantiated. It was experimentally established that the yield of pure inulin from Jerusalem artichoke tubers amounted to 56.5%. Four variants of DS formulations with different ratios of components and inulin content ranging from 43 to 53% were developed.

Organoleptic, physicochemical, and microbiological parameters were evaluated in accordance with current GOST standards. It was shown that all samples comply with regulatory requirements for quality and safety. The sample containing 53% inulin demonstrated the best organoleptic and technological properties, high water-holding capacity, and optimal flowability.

The studied compositions are characterized by a significant content of dietary fiber, B-group vitamins, vitamins C and E, as well as a balanced amino acid composition. The obtained results confirm the high biological and functional value of the developed dietary supplements.

The developed dietary supplement meets the body' s requirement for inulin, exhibits pronounced prebiotic properties, supports metabolic processes, and has an immunomodulatory effect.

Keywords: inulin, Jerusalem artichoke tubers, dietary supplement, licorice root, sprouted oats, sprouted barley.

Введение. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), распространенность сахарного диабета среди населения продолжает неуклонно расти. Этот процесс вызван сочетанием генетической предрасположенности и изменяемых факторов образа жизни, включая низкий уровень физической активности, чрезмерное потребление легкоусвояемых углеводов и недостаточное потребление пищевых волокон. В связи с этим особую актуальность приобретают функциональные продукты питания и биологически активные добавки, разработанные для коррекции углеводного обмена и снижения риска развития и прогрессирования осложнений заболевания [1].

За последние два десятилетия концепция функционального питания претерпела значительное развитие. Функциональные пищевые продукты, свойства которых выходят за рамки удовлетворения основных потребностей в питании, демонстрируют потенциал для поддержания здоровья и снижения риска хронических неинфекционных заболеваний, что приводит к росту научного и практического интереса к этой категории. В последние годы биологически активные соединения функциональных продуктов привлекают значительное внимание исследова-

телей в контексте патогенеза и коррекции сахарного диабета. Защитные эффекты этих соединений и их пищевых источников были изучены в экспериментах in vitro и in vivo; ряд рандомизированных клинических исследований подтвердил их клиническую значимость у пациентов с сахарным диабетом [2].

Актуальность здорового питания подтверждается исследованиями, показывающими прямую связь между иммунным статусом человека и потребляемой им пищей. Производители расширяют ассортимент профилактических продуктов, используя различные функциональные ингредиенты: пищевые волокна, витамины, антиоксиданты, полиненасыщенные жирные кислоты, про - и пребиотики. Пробиотики-это физиологически функциональные пищевые ингредиенты в виде живых микроорганизмов, которые благотворно влияют на организм человека в результате селективной стимуляции роста и/или повышения биологической активности нормальной микрофлоры кишечника. Пребиотики-это физиологически функциональные пищевые ингредиенты в виде веществ, благоприятно воздействующих на организм человека при регулярном употреблении в виде препаратов или в составе пищевых продуктов в результате нормализации состава и/или биологической активности нормальной микрофлоры кишечника [3].

В последние годы наблюдается рост числа метаболических заболеваний, включая сахарный диабет, что требует разработки эффективных подходов к его профилактике и коррекции. Одним из перспективных направлений является использование биологически активных добавок (БАД), содержащих природные компоненты, способствующие нормализации обмена веществ и поддержке организма.

Распространенность сахарного диабета растет тревожными темпами во всем мире, что приводит к значительному увеличению преждевременной смертности, сопутствующих заболеваний и увеличению расходов на здравоохранение. Прогнозы на будущее также неутешительны, учитывая, что к 2030 году ожидается, что каждый десятый человек в мире будет страдать этим заболеванием. Общие определяющие факторы включают избыток жировой ткани, неправильное питание, малоподвижный образ жизни, высокое кровяное давление и семейный анамнез диабета. Соответствующие стратегии профилактики в основном направлены на изменение образа жизни, включая физическую активность и диетические стратегии, предназначенные для людей с преддиабетом и высоким риском, и убедительно демонстрируют значительное снижение заболеваемости 28% до 58% во всем мире [4].

Правильное питание является основой любого цивилизованного общества, поскольку оно является неотъемлемой частью профилактического здравоохранения. Потребители теперь лучше осведомлены о здоровом питании и перспективах использования лечебных продуктов в качестве диетического средства. Этот повышенный интерес связан с глубоким пониманием механизмов, посредством которых диета влияет на различные заболевания Радикальные изменения в рационе питания и образе жизни приводят к возникновению различных заболеваний, таких как гипергликемия, гиперхолестеринемия, сахарный диабет и заболевания раздраженного кишечника. Более того, такие осложнения являются взаимозависимыми и влияют на возникновение и тяжесть друг друга, поскольку было замечено, что 80% пациентов с сахарным диабетом подвержены сердечно-сосудистым заболеваниям. В настоящее время эти заболевания стремительно поражают развивающиеся страны, где отсутствуют рекомендации по питанию для различных слоев населения. Высокое бремя болезней может быть связано с отсутствием доступа к надлежащим лекарствам, образом жизни, режимом питании связанными с этими факторами риска, такими как гипертония, загрязнение окружающей среды и курение. Диетические мероприятия, включающие диверсификацию рациона питания, пищевые добавки, а также функциональные продукты питания и нутрицевтики, могут быть полезны для борьбы с этими заболеваниями [5].

В этом контексте особое значение имеют функциональные ингредиенты, обладающие

способностью нормализовать обменные процессы. Инулин, который относится к классу растворимых пищевых волокон, характеризуется низким гликемическим индексом и способен снижать концентрацию глюкозы и холестерина в плазме крови, модулируя липидный обмен и проявляя антиоксидантную активность. Кроме того, его пребиотические свойства способствуют восстановлению эубиоза кишечной микробиоты, которая играет ключевую роль в регуляции системного метаболизма [6].

Инулин получил достаточно широкое применение в пищевой промышленности. Имеются сведения о применение инулина в производстве различных видов хлеба из пшеничной и ржано-пшеничной муки, песочных изделий и кексах, пряниках и вафлях. Доказано, что внесение инулина не только делает хлеб более полезным, но и оказывает ряд технологических эффектов - улучшает показатели формоустойчивости, пористости, упека, усушки и выхода. Наряду с этим повышаются потребительские качества хлеба - улучшается его внешний вид и аромат, замедляется черствение. Рекомендуемая дозировка 2,5 - 3,0 % к массе муки [7].

Растительные компоненты натурального происхождения используются для повышения питательной ценности и биодоступности биологически активных добавок. Пророщенные зерна овса и ячменя служат источником витаминов группы В, антиоксидантных соединений, пищевых волокон и множества биологически активных веществ. Процесс проращивания сопровождается активацией эндогенных ферментов, гидролизом сложных углеводов и снижением содержания антипитательных веществ, что значительно повышает биодоступность микроэлементов. Включение пророщенных злаков в состав биологически активных добавок улучшает качество сырья и обеспечивает синергетический эффект компонентов рецептуры [8].

Корень солодки, обладающий выраженными противовоспалительными и иммуномодулирующими свойствами, считается важным компонентом комплексных пищевых добавок. Его основное действующее вещество, глицирризиновая кислота, способствует нормализации гликемического контроля и проявляет цитопротекторное действие в условиях окислительного стресса. Введение экстракта корня солодки в состав биологически активных добавок обеспечивает дополнительный иммуномодулирующий эффект, что имеет особое значение для больных сахарным диабетом [9].

Топинамбур (Helianthus tuberosus) является основным промышленным источником инулина. Благодаря своей высокой приспособляемости к неблагоприятным факторам окружающей среды — морозо- и засухоустойчивости, низким требованиям к плодородию почвы и минимальной потребности в минеральных удобрениях - эта культура получила широкое распространение. Выведенные отечественными селекционерами сорта топинамбура характеризуются клубнями правильной геометрической формы, пригодными для механизированной промышленной переработки. Таким образом, топинамбур обладает значительным потенциалом в качестве основного сырья для организации крупномасштабного производства инулина [10].

Материалы и методы. Исследования проведены в АО «Алматинский технологический университет» Научно-исследовательской лаборатории по оценке качества и безопасности продовольственных продуктов и использовались стандартные методы анализа и определения показателей качества в соответствии с действующими ГОСТами. Все анализы выполнены в лабораторных условиях с использованием современного оборудования и точных методик, что гарантирует высокую степень достоверности полученных данных. Влажность определяли по ГОСТ 13586.5–2015 [11] и ГОСТ 24027.2-80 [14], кислотность - по ГОСТ 27493–87 [12], микробиологические исследования проводили по ГОСТ ISO 7218–2015 [13]. Массовую долю жира определяли по ГОСТ 31700-2012 [15], белка - по ГОСТ 25011–81 [16], азота - по ГОСТ Р 50453–92 [17], зольность - по ГОСТ 10847–2019 [18]. Содержание кальция и магния определяли по ГОСТ 32343–2013 [19], общего фосфора - по ГОСТ Р 51482–99 [20], меди - по ГОСТ 26931–86 [21],

железа - по ГОСТ 26928–86 [22], свинца - по ГОСТ 26932–86 [23], кадмия - по ГОСТ 26933–86 [24].

Обсуждение и результаты. Разработана биологически активная добавка с заменой одного компонента растительного сырья -топинамбура на инулин, для профилактики эндокринных заболеваний. Из 100 г клубней топинамбура с содержанием инулина 14,8% получили 8,37 г чистого инулина, что составило 56,5% выхода продукта.

Получен образец, в котором топинамбур полностью заменён на инулин, с целью увеличения количество инулина в составе добавки. Исследованы варианты композиции БАДов с различными содержаниями инулина (Таблица 1).

Таблица 1 - Состав образцов БАДа с инулином

Образцы БАДа	Инулин (г)	Пророщенный овес (г)	Пророщенный ячмень (г)	Корень солодки (г)	Содержание инулина, %
Образец 1	50	20	20	10	53%
Образец 2	45	20	20	15	48%
Образец 3	42	25	18	15	45,4%
Образец 4	40	20	20	20	43%

Согласно результатам Таблицы 1, содержания инулина в представленных 4 Образцах композиции БАДов наибольшая массовая доля инулина (53%) наблюдается в Образце 1, Данный образец получен при введении 50 г чистого инулина на 100 г общей массы, при этом остальные компоненты включали 20 г пророщенного овса, 20 г пророщенного ячменя и 10 г корня солодки. Высокая концентрация инулина в этом образце обусловлена преобладанием в рецептуре непосредственно инулинсожержащего сырья.

Снижение количества вводимого инулина при одновременном сохранении или увеличении других растительных компонентов закономерно приводит к уменьшению его относительного содержания в конечном продукте. Так, в Образце 2 при уменьшении инулина до 45 г и повышении содержания корня солодки до 15 г массовая доля инулина составила 48 %, что на 5 % ниже по сравнению с образцом 1.

В Образце 3 содержание инулина снизилось до 42 г, а увеличение доли пророщенного овса до 25 г сопровождалось дальнейшим падением массовой доли инулина до 45,4 %. Наименьшее значение (43 %) зарегистрировано в Образце 4, где инулин был введён в количестве 40 г, а доля корня солодки повышена до 20 г.

Полученные данные свидетельствуют о том, что определяющим фактором уровня инулина в готовой композиции является абсолютная масса вводимого инулина, тогда как увеличение доли растительных ингредиентов, практически не содержащих эндогенного инулина (пророщенные злаки, корень солодки), приводит к эффекту разбавления и снижению его концентрации в конечном продукте.

Таким образом, Образец 1 характеризуется максимальной степенью обогащения инулином (53 %) и может быть признан оптимальным при разработке биологически активных добавок с выраженным пребиотическим действием, где приоритет отдаётся достижению высокой концентрации инулина. Варианты с более низким содержанием инулина (Образцы 2-4) целесообразно рассматривать в контексте создания поликомпонентных рецептур, обеспечивающих более широкий спектр нутритивных и функциональных свойств за счёт синергизма растительных ингредиентов.

Оценка органолептических и физико-технологических характеристик четырёх разработанных композиций биологически активных

добавок с различным содержанием инулина позволила установить существенные различия как по сенсорным, так и по технологическим показателям, что имеет принципиальное значение для выбора рациональной рецептуры.

Результаты изучения органолептических и физико-химических показателей исследуемых композиций Бад представлены в Таблице 2.

Таблица 2 - Органолептические и физико-химические показатели образцов БАДа с различным содержанием инулина

Показатели	Образцы БАДов с инулином			
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
Внешний вид	однородный порошок	слегка неоднородный	неоднородный	однородный
Цвет	светло-бежевый	бежевый	серо-бежевый	серо-бежевый
Запах	нейтральный	растительный	ярко выраженный, резкий	слабый
Вкус	умеренно сладкий	сладкий	сладкий с послевкусием	слишком сладкий с послевкусием
Влажность, %	6,2	6,5	6,8	7,1
ВУС,г/г	2,8	2,6	2,6	2,4
Угол откоса, °	34	36	30	38
Насыпная плотность, г/мл	0,60	0,58	0,65	0,70
Уплотненная плотность, г/мл	0,75	0,74	0,85	0,90

Согласно результатам оценки органолептических и физико-химических показателей, четырёх экспериментальных образцов композиции биологически активной добавки таблица 2, наилучшие значения по органолептическим характеристикам зафиксированы для Образца 1. Данный образец характеризуется однородной структурой, светло-бежевым цветом, нейтральным запахом и умеренно сладким вкусом. В отличие от этого, Образец 3 отличается неоднородной консистенцией и выраженным, резким запахом, что может свидетельствовать о нежелательных сенсорных отклонениях. Образец 4 обладает чрезмерно сладким вкусом, что при длительном применении может снижать органолептическую приемлемость продукта. Образец 2 демонстрирует наиболее сбалансированные органолептические свойства среди всех вариантов. Анализ технологических параметров показал, что все образцы соответствуют нормативным требованиям по содержанию влаги (не более 8,0 %). Тем не менее, наблюдается тенденция к постепенному увеличению влажности от образца 1 (6,2 %) до образца 4 (7,1 %). Указанное повышение влажности может негативно влиять на микробиологическую стабильность и сроки годности готового продукта.

По показателю водоудерживающей способности (ВУС) максимальное значение зарегистрировано для образца 1 - 2,8 г/г, что свидетельствует о высокой способности материала связывать влагу и потенциально обеспечивает лучшую струк-

турную стабильность в водных средах. Наименьшее значение ВУС (2,4 г/г) характерно для Образца 4, что существенно ограничивает его технологическую применимость, особенно при разработке продуктов с высокой влажностью.

Угол естественного откоса, характеризующий сыпучесть и поведение материала при дозировании и фасовке, варьировал в диапазоне от 30° (Образец 3) до 38° (Образец 4). Оптимальными значениями для большинства технологических процессов считаются 30-35°. В связи с этим Образцы 1 (34°) и 3 (30°) обладают хорошей сыпучестью, тогда как повышенный угол откоса Образца 4 указывает на склонность к слёживанию и осложнения при транспортировке и автоматизированном дозировании.

По показателям насыпной и уплотнённой плотности наименьшие значения зафиксированы для Образцов 1 и 2, что положительно сказывается на удобстве фасовки, экономичности упаковки и скорости растворения/диспергирования. Образец 4 характеризуется максимальными значениями плотности (0,70 г/мл - насыпная и 0,90 г/мл - утрясённая), что может создавать дополнительные технологические ограничения.

Таким образом, комплексная оценка технологических свойств позволяет заключить, что Образец 1 является наиболее предпочтительным вариантом с позиции достижения оптимального сочетания органолептических, гидратационных и реологических характеристик.

Таблица 3 - Физико-химические и качественные показатели образцов БАДа с инулином

Наименование показателей	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
Физико-химические показатели				
Массовая доля белка, %	7,22±0,05	7,47±0,06	8,81±0,06	8,43±0,07
Массовая доля влаги, %	6,43±0,07	6,84±0,04	6,66±0,06	6,73±0,05
Массовая доля золы, %	1,61±0,01	1,98±0,02	1,98±0,02	2,00±0,03
Массовая доля клетчатки, %	15,51±0,11	15,83±0,09	15,01±0,12	14,86±0,07
Титруемая кислотность, ^{0}Т	8,8°Т	10,0°Т	10,2°Т	12,6°Т
Витаминный состав				
Витамин Е	1,38	1,69	1,38	1,21
Витамин С	0,020±0,006	0,038±0,013	0,024±0,008	0,023±0,007
Витамин В1	0,147±0,029	0,141±0,028	0,150±0,03	0,118±0,023
Витамин В2	0,129±0,053	0,133±0,056	0,144±0,060	0,136±0,057
Витамин В3	0,701±0,140	0,625±0,125	0,711±0,142	0,572±0,114
Витамин В5	0,675±0,135	0,547±0,116	0,639±0,127	0,480±0,096
Витамин В6	0,174±0,034	0,178±0,035	0,197±0,039	0,161±0,032
Витамин Вс	0,040±0,008	0,032±0,006	0,045±0,009	0,035±0,007

Качественные и микробиологические показатели безопасности разработанных композиций биологически активных добавок с инулином были определены в аккредитованной научно-исследовательской испытательной лаборатории по оценке качества и безопасности пищевой продукции АО «Алматинский технологический университет» лаборатории, по оценке качества

и безопасности продовольственных продуктов.

Физико-химические показатели и качественные показатели образцов Бада с инулином, представлены в таблицах 3, 4.

По результатам Таблицы 3 показан анализ физико-химических характеристик, где массовая доля белка варьирует от 7,22±0,05 до 8,81±0,06%, что отражает вклад белковых компонентов пророщенных зерновых культур, с более высоким содержанием белка в Образцах 3 и 4, что связано с увеличением концентрации растительных компонентов. Установлено, что массовая доля влаги во всех Образцах стабильна и колеблется в пределах от 6,43±0,07 до 6,84±0,04%, что указывает на одинаковые условия инфракрасной сушки, обеспечивающие сохранность биологически активных веществ. Минеральный состав, отражённый массовой долей золы (1,61±0,01%–2,00±0,03%), свидетельствует о присутствии значимого количества микроэлементов, характерных для корня солодки и пророщенных зерновых. Значительный уровень клетчатки, особенно в Образце 2 (15,83±0,09%), обусловлен высоким содержанием пищевых волокон из инулина и растительных компонентов, что способствует улучшению пищеварительных свойств и пребиотическому эффекту. Увеличение показателя титруемой кислотности от $8,8^0$Т до $12,6^0$Т, свидетельствует о накоплении органических кислот в процессе биохимических процессов, что типично для продуктов с высоким содержанием корня солодки и пророщенных зерен.

Результаты исследования витаминного состава композиции БАДов с инулином, показали наличие широкого спектра водо- и жирорастворимых витаминов, подтверждающих высокую биологическую ценность композиций. Из таблицы 3 следует, что содержание витамина Е, обладающего выраженной антиоксидантной активностью, варьирует от 1,21 до 1,69 мг, с наибольшей концентрацией в Образце 2. Это может быть связано с более высоким содержанием липидной фазы, в частности, из-за пророщенного зерна, где наблюдается активное накопление токоферолов в процессе прорастания. По содержанию витамина С, играющего ключевую роль в антиоксидантной защите и иммунной функции, который присутствует во всех Образцах в пределах 0,020–0,038 мг, с максимальным содержанием в Образце 2. Хотя уровень аскорбиновой кислоты относительно невысокий, её наличие может быть обусловлено корнем солодки, содержащим флавоноиды и другие биологически активные соединения с синергетическим действием. Комплекс витаминов группы В, участвующих в углеводном, белковом и жировом обмене, представлен на достаточно высоком уровне. Наиболее сбалансированное и высокое содержание витаминов группы В наблюдается в Образце 3, что, связано с оптимальным соотношением компонентов смеси, обеспечивающим более благоприятные условия для сохранения или синтеза данных витаминов при проращивании.

Таким образом, физико-химические показатели и витаминный состав исследуемых образцов указывает на сбалансированный витаминный состав, в качестве функциональных ингредиентов, Образцы 2 и 3 демонстрируют наилучшие характеристики по суммарной витаминизации.

По результатам Таблицы 4 показан анализ аминокислотного состава композиции БАДов с инулином, при этом наибольшее содержание аргинина отмечается в Образце 3 (1,100±0,440), тогда как минимальное значение наблюдается в Образце 2 (0,688±0,275). По содержанию лизина лидирует также Образец 1 (1,298±0,441), в то время как наименьший уровень выявлен в Образце 2 (0,331±0,113).

Отмечено, что наибольшие значения пролина характерны для Образцов 2 и 4 (2,240±0,582% и 2,460±0,640% соответственно). По содержанию фенилаланина наибольшие показатели отмечены у Образцов 3 и 4 (1,950±0,507 и 1,852±0,482).

Таким образом, каждый из исследованных образцов композиции БАДов с инулином отличается определённым аминокислотным составом. Образец 1 характеризуется повышенным содержанием аргинина и лизина, что указывает на его высокую биологическую ценность. В Образцах 2 и 4 отмечено увеличение пролина, в то время как Образцы 3 и 4 характеризуются более высоким содержанием фенилаланина.

Таблица 4 - Результаты аминокислотного состава образцов БАДа с инулином

Наименование показателя, %	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
Аргинин	0,809±0,324	0,688±0,275	1,100±0,440	1,045±0,418
Лизин	0,292±0,099	0,206±0,070	0,135±0,046	0,128±0,044
Тирозин	0,387±0,116	0,378±0,113	0,390±0,117	0,370±0,111
Фенилаланин	0,774±0,232	0,843±0,253	0,975±0,293	0,926±0,278
Гистидин	0,102±0,051	0,088±0,044	0,279±0,139	0,265±0,132
Лейцин+изолейцин	0,668±0,174	0,722±0,188	0,808±0,210	0,767±0,199
Метионин	0,278±0,094	0,310±0,105	0,348±0,118	0,331±0,112
Валин	0,528±0,211	0,602±0,241	0,655±0,262	0,622±0,249
Пролин	1,407±0,366	1,462±0,380	1,950±0,507	1,852±0,482
Треонин	0,457±0,183	0,550±0,220	0,585±0,234	0,556±0,222
Серин	0,457±0,119	0,533±0,139	0,571±0,148	0,542±0,141
Аланин	0,352±0,091	0,378±0,098	0,404±0,105	0,384±0,100
Глицин	0,306±0,104	0,361±0,123	0,418±0,142	0,397±0,135

Поскольку разработанные Бады предназначены для обогащения мучных кондитерских изделий и придания им функциональных свойств, особое значение приобретают показатели микробиологической безопасности. В образцах определяли микробиологические показатели. В Таблице 5 представлены микробиологические показатели образцов БАДа с чистым инулином.

Таблица 5 - Результаты микробиологических показателей образцов композиции БАДов с инулином

Наименование показателей, ед.изм.	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
КМАФАнМ, КОЕ/г	$1,7*10^3$	$2,3*10^3$	$3,1*10^3$	$2,7*10^3$
БГКП (колиформы) в 1.0 $см^3$ продукта	Не обнаружено			
Дрожжи, КОЕ/г	21	21	31	17
Плесени, КОЕ/г	19	29	22	19

По микробиологическим показателям во всех образцах показания КМАФАнМ (КОЕ/г), БГКП (колиформы) в 1,0 $см^3$ продукта, дрожжи и плесени соответствуют по требованиям СанПИН.

Выводы. По результатам физико-химического и качественного анализа установлено, что все образцы БАДов соответствуют нормативным показателям качества. Анализ аминокислотного состава показал, что исследуемые образцы богаты как заменимыми, так и незаменимыми аминокислотами. Исследование витаминного состава показало, что все образцы содержат все необходимые витамины, для поддержания нормального обмена веществ.

Таким образом, разработанные композиции БаДов подтверждают высокую питательную ценность и функциональную направленность исследуемых образцов БАДов.

Разработанный БАД не предназначен для полного покрытия суточной потребности в инулине, однако способствует её частичному восполнению и оказывает поддерживающее действие на метаболические процессы у пациентов с сахарным диабетом и оказывает иммуномодулирующее действие.

Финансирование: *Материалы подготовлены в рамках выполнения проекта ИРН* ***AP23485292*** *«Разработка технологии комплексной биологически активной добавки (БАД) иммуномодулирующей направленности» по бюджетной программе 217 «Развитие науки» по подпрограмме 102 «Грантовое финансирование научных исследований» Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан на 2024-2026 годы.*

Литература

1. Global report on diabetes/ World Health Organization. -2016. -88 p. ISBN 9789241565257.

2. Mirmiran P., Bahadoran Z., Azizi F. Functional foods-based diet as a novel dietary approach for management of type 2 diabetes and its complications: A review// World Journal of Diabetes. -2014. -Vol.5(3). -P.267-281. DOI 10.4239/wjd. v5.i3.267.

3. Назаренко М.Н., Бархатова Т.В., Кожухова М.А., Хрипко И.А., Бурлакова Е.В. Изменение инулина в клубнях топинамбура при хранении// Научный журнал КубГАУ. -2013. - № 94(10).

4. IDF. The Diabetes Atlas. -2015. -5th ed. URL: http://www.diabetesatlas.org/. - Date accessed: 09.02.2026.

5. Butt M.S., Sultan M.T., Butt M.S., Iqbal J.2009. Garlic: Nature’s protection against physiological threats// Critical Reviews in Food Science and Nutrition. -2009. -Vol.49(6). -P.538-551. DOI 10.1080/10408390802145344.

6. Зяблицева Н.С., Белоусова А.Л., Компанцев В.А. и др Топинамбур, химическое и фармакогностическое исследования, применение в медицинских и пищевых целях/Пятигорская ГФА Росздрава,2010. - 134 с. ISBN 978-5-94122-069-4

7. Корячкина С.Я., Байбашева Д.К. Влияние степени полимеризации молекул инулина и олигофруктозы на остаточное содержание их в ржано-пшеничном заварном хлебе функционального назначения //Известия Вузов. Пищевая технология. -2010. - № 1. С.28-30.

8. Xue X., et al. A review of the processed Polygonum multiflorum (Thunb.) for hepatoprotection: Clinical use, pharmacology and toxicology// Journal of Ethnopharmacology. -2020. -Vol.261: 113121. DOI 10.1016/j.jep.2020.113121

9. Aune D, Schlesinger S, Neuenschwander M, et al. Diabetes mellitus, blood glucose and the risk of heart failure: A systematic review and meta-analysis of prospective studies// Nutrition, Metabolism, and Cardiovascular Diseases. -2018.- Vol.28(11). -P.1081-1091. DOI 10.1016/j.numecd.2018.07.005.

10. Назаренко М.Н. и др. Гидролиз инулина топинамбура ферментным препаратом инвертазы// Материалы IV международной научно-практической конференции «Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья». С.А.Пермяков. - 2014. -С.170- 174.

11. ГОСТ 13586.5–2015. Зерно. Метод определения влажности. - Введ. 2016–07–01. - Москва: Стандартинформ, 2015. - 12 с.

12. ГОСТ 27493–87. Зерно и продукты его переработки. Метод определения кислотности. - Москва: Издательство стандартов, 1987. – 6 с.ГОСТ ISO 7218–2015. Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Общие требования и рекомендации по микробиологическим исследованиям. - Введ. 2017–01–01. - Москва: Стандартинформ, 2016. - 74 с.

13. ГОСТ 24027.2–80. Сырье лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла. - Москва: Издательство стандартов, 1980. - 12 с.

14. ГОСТ 23042–86. Мука и отруби. Методы определения жира. - Москва: Издательство стандартов, 1986. - 8 с.

15. ГОСТ 25011–81. Мясо и мясные продукты. Методы определения белка. – Москва: Издательство стандартов, 1981. - 10 с.

16. ГОСТ Р 50453–92 (ИСО 937–78). Мясо и мясные продукты. Определение содержания азота (контрольный метод). - Москва: Издательство стандартов, 1992. - 8 с.

17. ГОСТ 10847–2019. Зерно и продукты его переработки. Методы определения зольности. – Введ.2020–07–01. - Москва: Стандартинформ, 2019. - 16 с.

18. ГОСТ EN 15505–2013. Продукты пищевые. Определение следовых элементов. Определение натрия и магния методом атомно-абсорбционной спектрометрии. – Москва: Стандартинформ, 2014. - 20 с.

19. ГОСТ 32343–2013. Продукты переработки фруктов и овощей. Методы определения кальция и магния. – Введ.2015–01–01. – Москва: Стандартинформ, 2014. - 14 с.

20. ГОСТ Р 51482–99 (ИСО 13730–96). Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли общего фосфора. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 1999. - 8 с.

21. ГОСТ 26931–86. Сырье и продукты пищевые. Метод определения меди. - Москва: Издательство стандартов, 1986. - 8 с.

22. ГОСТ 26928–86. Продукты пищевые. Метод определения железа. - Москва: Издательство стандартов, 1986. - 8 с.

23. ГОСТ 26932–86. Сырье и продукты пищевые. Методы определения свинца. - Москва: Издательство стандартов, 1986. - 10 с.

24. ГОСТ 26933–86. Сырье и продукты пищевые. Методы определения кадмия. - Москва: Издательство стандартов, 1986. -10 с.

References

1. Global report on diabetes/ World Health Organization. -2016. -88 p. ISBN 9789241565257.

2. Mirmiran P., Bahadoran Z., Azizi F. Functional foods-based diet as a novel dietary approach for management of type 2 diabetes and its complications: A review// World Journal of Diabetes. -2014. -Vol.5(3). -P.267-281. DOI 10.4239/wjd. v5.i3.267.

3. Nazarenko M.N., Barhatova T.V., Kozhuhova M.A., Hripko I.A., Burlakova E.V. Izmenenie inulina v klubnjah topinambura pri hranenii// Nauchnyj zhurnal KubGAU. -2013. - № 94(10). [in Russian]

4. IDF. The Diabetes Atlas. -2015. -5th ed. URL: http://www.diabetesatlas.org/. - Date accessed: 09.02.2026.

5. Butt M.S., Sultan M.T., Butt M.S., Iqbal J.2009. Garlic: Nature’s protection against physiological threats// Critical Reviews in Food Science and Nutrition. -2009. -Vol.49(6). -P.538-551. DOI 10.1080/10408390802145344.

6. Zjabliceva N.S., Belousova A.L., Kompancev V.A. i dr Topinambur, himicheskoe i farmakognosticheskoe issledovanija, primenenie v medicinskih i pishhevyh celjah/Pjatigorskaja GFA Roszdrava,2010. - 134 s. ISBN 978-5-94122-069-4. [in Russian]

7. Korjachkina S.Ja., Bajbasheva D.K. Vlijanie stepeni polimerizacii molekul inulina i oligofruktozy na ostatochnoe soderzhanie ih v rzhano-pshenichnom zavarnom hlebe funkcional' nogo naznachenija //Izvestija Vuzov. Pishhevaja tehnologija. -2010. - № 1. S. 28-30. [in Russian]

8. Xue X., et al. A review of the processed Polygonum multiflorum (Thunb.) for hepatoprotection: Clinical use, pharmacology and toxicology// Journal of Ethnopharmacology. -2020. -Vol.261: 113121. DOI 10.1016/j.jep.2020.113121

9. Aune D, Schlesinger S, Neuenschwander M, et al. Diabetes mellitus, blood glucose and the risk of heart failure: A systematic review and meta-analysis of prospective studies// Nutrition, Metabolism, and Cardiovascular Diseases. -2018.- Vol.28(11). -P.1081-1091. DOI 10.1016/j.numecd.2018.07.005.

10. Nazarenko M.N. i dr. Gidroliz inulina topinambura fermentnym preparatom invertazy// Materialy IV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Innovacionnye pishhevye tehnologii v oblasti hranenija i pererabotki sel' skohozjajstvennogo syr' ja». S.A. Permjakov. - 2014. -S.170- 174. [in Russian]

11. GOST 13586.5-2015. Zerno. Metod opredelenija vlazhnosti. - Vved. 2016–07–01. - Moskva: Standartinform, 2015. - 12 s. [in Russian]

12. GOST 27493–87. Zerno i produkty ego pererabotki. Metod opredelenija kislotnosti. - Moskva: Izdatel' stvo standartov, 1987. – 6 s. GOST ISO 7218–2015. Mikrobiologija pishhevyh produktov i kormov dlja zhivotnyh. Obshhie trebovanija i rekomendacii po mikrobiologicheskim issledovanijam. - Vved.2017–01–01. - Moskva: Standartinform, 2016. - 74 s. [in Russian]

13. GOST 24027.2–80. Syr' e lekarstvennoe rastitel' noe. Metody opredelenija vlazhnosti, soderzhanija zoly, jekstraktivnyh i dubil' nyh veshhestv, jefirnogo masla. - Moskva: Izdatel' stvo standartov, 1980. - 12 s. [in Russian]

14. GOST 23042–86. Muka i otrubi. Metody opredelenija zhira. - Moskva: Izdatel' stvo standartov, 1986. - 8 s. [in Russian]

15. GOST 25011–81. Mjaso i mjasnye produkty. Metody opredelenija belka. – Moskva: Izdatel' stvo standartov, 1981. - 10 s. [in Russian]

16. GOST R 50453–92 (ISO 937–78). Mjaso i mjasnye produkty. Opredelenie soderzhanija azota (kontrol' nyj metod). - Moskva: Izdatel' stvo standartov, 1992. - 8 s. [in Russian]

17. GOST 10847–2019. Zerno i produkty ego pererabotki. Metody opredelenija zol' nosti. – Vved.2020–07–01. - Moskva: Standartinform, 2019. - 16 s. [in Russian]

18. GOST EN 15505–2013. Produkty pishhevye. Opredelenie sledovyh jelementov. Opredelenie natrija i magnija metodom atomno-absorbcionnoj spektrometrii. – Moskva: Standartinform, 2014. - 20 s. [in Russian]

19. GOST 32343–2013. Produkty pererabotki fruktov i ovoshhej. Metody opredelenija kal' cija i magnija. – Vved.2015–01–01. – Moskva: Standartinform, 2014. - 14 s. [in Russian]

20. GOST R 51482–99 (ISO 13730–96). Mjaso i mjasnye produkty. Metod opredelenija massovoj doli obshhego fosfora. – Moskva: IPK Izdatel' stvo standartov, 1999. - 8 s. [in Russian]

21. GOST 26931–86. Syr' e i produkty pishhevye. Metod opredelenija medi. - Moskva: Izdatel' stvo standartov, 1986. - 8 s. [in Russian]

22. GOST 26928–86. Produkty pishhevye. Metod opredelenija zheleza. - Moskva: Izdatel' stvo standartov, 1986. - 8 s. [in Russian]

23. GOST 26932–86. Syr' e i produkty pishhevye. Metody opredelenija svinca. - Moskva: Izdatel' stvo standartov, 1986. - 10 s. [in Russian]

24. GOST 26933–86. Syr’ e i produkty pishhevye. Metody opredelenija kadmija. - Moskva: Izdatel’ stvo standartov, 1986. -10 s. [in Russian]

Сведения об авторах

Жумалиева Г.Е. - кандидат технических наук, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Алматы, Казахстан, e-mail: guljan_7171@mail.ru;

Шоман А.К - магистр технических наук, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Алматы, Казахстан, e-mail: shoman_a@mail.ru;

Огазова А. - ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Алматы, Казахстан, e-mail: aogazova@inbox.ru

Information about the authors

Zhumalieva G.E. - Candidate of Technical Sciences, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry LLP, Almaty, Kazakhstan, email: guljan_7171@mail.ru;

Shoman A.K. - Master of Technical Sciences, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry LLP, Almaty, Kazakhstan, email: shoman_a@mail.ru;

Ogazova A. Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry LLP, Almaty, Kazakhstan, email: aogazova@inbox.ru

ҒТАМР https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1426

ҚҰРАМЫНДА КОЛЛАГЕН БАР ҚҰС ШИКІЗАТЫНАН ТАҒАМДЫҚ ГИДРОЛИЗАТТАР АЛУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

[1]А.К. Суйчинов, [2]А.К. Какимов, [2]Э.К. Окусханова, [1]Г.А. Капашева

[1]Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ғылыми зерттеу институты (Семей филиалы), Семей, Қазақстан,
[2]«Шәкәрім Университеті» КЕҚ, Семей, Қазақстан

Корреспондент-автор: gena.89.89@mail.ru

Бұл мақалада коллагенге бай тауық шикізатының соның ішінде тауық етінің терісі, сүйектері, тауық асқазаны және тауық аяқтарының химиялық құрамы мен олардан алынған гидролизаттардың химиялық құрамы, органолептикалық көрсеткіштері қарастырылған. Коллагенге бай тауық шикізатын алдымен коллоидты диірменде ұсақтап алып, содан кейін ферменттеу әдісі жүргізілді. Алынған өнім мұздатқышта қатырылып, кейін сублимациялық кептіруде кептірілген. Тауық шикізатынан гидролизат алу әдісінде ферментативтикәдіс қолданылып «Протозим С», «Коллагеназа» және «Энзимикс-У» ферменттік препараттарының әсері зерттелінді. Ферменттің концентрациясы, гидромодулы, температурасы және ультрадыбыстық өңдеу параметрлері тәжірибе нәтижелеріне сүйене отырып таңдалынды. Ультрадыбыстық өңдеу ферменттердің белсенділігін арттырса, ал коллаген талшықтарының ыдырауын жылдамдата түсті және ақуыздың еру қабілетін арттырды.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, қолданылған өңдеу әдістері мен ферменттердің үйлесімі гидролизаттардың құрамына тікелей әсер етті. Өңдеу жағдайына байланысты ақуыз, май, күл және ылғал мөлшерінің арақатынасы өзгеріп отырды. Тері гидролизатында ақуыздың ең жоғары мөлшері (52,25%) ие болды. Ал сүйектен алынған гидролизаттар минералды заттармен ерекшеленсе, теріден алынған үлгілердің майлылығы мен ақуыз құрамы жоғары болды. Барлық үлгілер біртекті ашық-қоңыр түсті ұнтақ түрінде алынды және бөгде иіссіз сипатталды.

Зерттеу тәжірбиесінің нәтижелері құрамында коллаген бар құс шикізатын кешенді биотехнологиялық өңдеу арқылы сапалы тағамдық гидролизаттар алуға болатынын көрсетеді. Ол өнімдер тағам өнеркәсібінде функционалды және биологиялық белсенді қоспалар өндіруде, сонымен қатар адам ағзасындағы ақуыз тапшылығының орынын толықтыруда тиімді болып келеді.

Түйін сөздер: коллаген, құс шикізаты, гидролизат, ферментативтік өңдеу, ультрадыбыс, тауық терісі.

ПОЛУЧЕНИЕ ПИЩЕВЫХ ГИДРОЛИЗАТОВ ИЗ КОЛЛАГЕНСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ ПТИЦЫ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ

[1]А.К. Суйчинов, [2]А.К. Какимов, [2]Э.К. Окусханова, [1]Г.А. Капашева

[1]Семейский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Семей, Казахстан,
[2]НАО «Шәкәрім Университеті», Семей, Казахстан,
e-mail: gena.89.89@mail.ru

В данной статье рассматривается химический состав богатого коллагеном куриного сырья, включая куриную кожу, кости, желудки и ножки, а также химический состав и органолептические характеристики полученных из них гидролизатов. Богатое коллагеном куриное сырье сначала измельчали в коллоидной мельнице, а затем подвергали ферментации. Полученный продукт замораживали в морозильной камере, а затем сублимировали. Ферментативным методом изучали влияние ферментных препаратов «Протозим С», «Коллагеназа» и «Энзимикс-У» на способ получения гидролизатов из куриного сырья. Концентрацию, гидромодуляцию, температуру и параметры ультразвуковой обработки фермента подбирали на основе экспериментальных результатов. Ультразвуковая

обработка повышала активность ферментов, ускоряла разложение коллагеновых волокон и увеличивала растворимость белков.

Результаты исследования показали, что сочетание методов обработки и используемых ферментов напрямую влияло на состав гидролизатов. В зависимости от условий обработки изменялось соотношение белков, жиров, золы и влаги. Гидролизат кожи имел самое высокое содержание белка (52,25%). В то время как гидролизаты, полученные из костей, отличались минеральными веществами, образцы, полученные из кожи, имели более высокое содержание жира и белка. Все образцы были получены в виде однородного светло-коричневого порошка и характеризовались как не имеющие запаха.

Результаты исследования показывают, что высококачественные пищевые гидролизаты могут быть получены путем комплексной биотехнологической переработки птичьего сырья, содержащего коллаген. Эти продукты эффективны в производстве функциональных и биологически активных добавок в пищевой промышленности, а также в восполнении дефицита белка в организме человека.

Ключевые слова: коллаген, сырье птицы, гидролизат, ферментативная обработка, ультразвук, куриная кожа.

PREPARATION OF FOOD HYDROLYZATS FROM COLLAGEN-CONTAINING RAW POULTRY AND STUDY OF THEIR PROPERTIES

[1]A. K. Suichinov, [2]A.K. Kakimov, [2]E.K. Okuskhanova, [1]G. A. Kapasheva✉

[1]Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry (Semey branch), Semey, Kazakhstan,
[2]NJC «Shakarim University», Semey, Kazakhstan,
e-mail: gena.89.89@mail.ru

This article reviews the chemical composition of collagen-rich chicken raw materials, including chicken skin, bones, chicken stomachs and chicken legs, and the chemical composition and organoleptic characteristics of hydrolysates obtained from them. Collagen-rich chicken raw materials were first crushed in a colloid mill, and then subjected to fermentation. The resulting product was frozen in a freezer, and then freeze-dried. The enzymatic method was used to study the effect of the enzyme preparations ”Protozyme C”, ”Collagenase” and ”Enzymix-U” on the method of obtaining hydrolysates from chicken raw materials. The concentration, hydromodulus, temperature and ultrasonic processing parameters of the enzyme were selected based on experimental results. Ultrasonic processing increased the activity of enzymes, accelerated the decomposition of collagen fibers and increased the solubility of proteins.

The results of the study showed that the combination of processing methods and enzymes used directly affected the composition of hydrolysates. Depending on the processing conditions, the ratio of protein, fat, ash and moisture content varied. The skin hydrolysate had the highest protein content (52.25%). While the hydrolysates obtained from bones were distinguished by mineral substances, the samples obtained from the skin had a higher fat content and protein content. All samples were obtained in the form of a homogeneous light brown powder and were characterized as odorless.

The results of the research experiment show that high-quality food hydrolysates can be obtained through complex biotechnological processing of poultry raw materials containing collagen. These products are effective in the production of functional and biologically active additives in the food industry, as well as in replenishing the protein deficiency in the human body.

Keywords: collagen, poultry raw materials, hydrolysate, enzymatic processing, ultrasound, chicken skin.

Кіріспе. Қазіргі таңда тамақ өнеркәсібінде әртүрлі өндірістік қалдықтарды тиімді пайдалану, олардан функционалдық қасиеттері жоғары өнімдер алу өзекті ғылыми бағыттардың бірі. Олардың арасында әсіресе, құрамында коллагені бар құс шикізатын қайта өңдеу арқылы тағамдық гидролизаттар алу экологиялық және экономикалық тұрғыдан тиімді шешім болып саналады. Бұл бағыт әлемдік «айналмалы экономика» тұжырымдамасына толық сәйкес келеді, өйткені мұнда екінші реттік ресурстарды жоғары құнды өнімдерге айналдыру басты бағыттардың бірі болып табылады [1].

Құс шикізаттары аяқтар, қанат ұштары, шеміршектер, сүйектер және т.б. олардың құрамында коллаген бар өнімдер алуға мүмкіндік беретін тіндер кездеседі. Бұларды көбіне шикізаттың қосалқы өнімдер түріне немесе қалдық ретінде қарастырылғанымен, олардың құрамында жоғары құндылыққа ие ақуызды және дәнекер тіндік компоненттер бар.

Сүйек қалдығы деп механикалық бөлшектеуден өткен немесе құс ұшасының бөліктерін сепарациялау әдісі арқылы алынған, сонымен қатар құрамында ет тіндерінің қалдығы бар құс сүйегі түріндегі сою өнімін айтады. Бұл өнім әрі қарай өнеркәсіптік өңдеуге, тағамдық өнімдер өндіру және жануарларға арналған азық жасау үшін жіберіледі.

Тағамдық құс сүйегі бұл ұша ішкі ағзасынан тазартылған немесе оның бөліктерін бөлшектеу нәтижесінде алынған шикі сүйек болып табылады. Олар бүтін, ұсақталған күйде болады. Құс сүйегінің құрамында аз мөлшерде ет тіндері бар, тағамдық мақсатта пайдалануға жарамды шикізат түрі [2].

Коллагеннің, әсіресе I және III типтерінің, бай көзі болып тауық терісі болып табылады, сондықтан ол тағамдық мақсаттар үшін құнды шикізат көзі болып саналады. Тауық терісіндегі жалпы ақуыз мөлшерінің көп бөлігін коллаген құрайды. Олардың шығымы құрғақ заттың 6%-дан 40%-ға дейінгі мөлшері экстракция әдістеріне байланысты. Пепсинмен экстракциялауда майсыздандырылған қатты фазадағы коллагеннің шамамен 38,9% шығымы анықталған [3]. Өзге зерттеулерде экстракция әдістеріне байланысты қалпына келу көрсеткіштері 6,1%-дан 40,4%-ға дейін жететіні көрсетілген. Тауық терісінен алынған гидролизаттардағы ақуыз мөлшері 62,7% құрайды [4].

Тауық сүйектері, шеміршектері, қанат ұштары және аяқтары да коллагеннің бай көзі болып табылады, сол себепті олар тағамдық өнімдер мен қоспалар өндіру үшін ерекше құнды болып келеді. Коллаген мөлшері экстракция және өңдеу әдісіне байланысты өзгеріп отырады, алайда бірқатар зерттеулер нақты сандық деректер келтіреді. Мысалы 70%-дан 84%-ға дейін ақуыз мөлшері тауық аяқтарындағы коллеген бөлігін құрайды [2, 5]. Қышқылдық, ферментативтік және т.б. әдістерді қолданылған экстрация шығымы қарай құрғақ заттың 5%-дан 32%-ға дейін жетеді [6 - 8].

Зерттеулер көрсеткендей, тауық асқазандарындағы коллагеннен алынған желатиннің шығымы экстракция әдісіне және өңдеу шарттарына байланысты өңделген тін массасының 43,8%-дан 96,45%-ға дейін жетеді [9, 10]. Тауық асқазандарындағы коллаген мөлшері жалпы ақуыздың шамамен 35%, яғни орта есеппен 7,35% құрайды [11].

Осылайша, тағам өнеркәсібінде құрамында коллаген бар құс шикізаты жоғары биологиялық құндылығы бар өнімдер алу үшін болашағы зор, экологиялық таза және қолжетімді шикізат көзі болып табылады. Бұндай шикізатты кешенді өңдеу арқылы тағамдық гидролизаттар алу, оның толық құндылығын пайдалануға, ақуыздық компоненттердің шығымын арттыруға және қалдықсыз технологиялар құруға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, құс шикізатынан алынған коллаген гидролизаттары тек тағам өнеркәсібінде ғана емес, сонымен бірге фармацевтикалық және косметикалық салаларда да кеңінен қолданылуда. Олар биологиялық белсенді қоспалар ретінде адам ағзасындағы дәнекер тіндердің қалпына келуін жақсартуға, буындардың қызметін қолдауға және тері құрылымын нығайтуға ықпал етеді. Соңы зерттеулер коллаген пептидтердің антиоксиданттық, миробқа қарсы және қан қысымын төмендететін қасиеттерін дәлелдейді.

Бқл оларды функционалдық тағам өндірісінде таптырмас компонентке айналдырады [12]. Осыған байланысты, мұндай шикізатты кешенді өңдеу қазіргі заманғы биотехнологияның маңызды бағыттарының бірі болып табылады.

Қазіргі уақытта ферменттік гидролиз әдістері жоғары тиімділігімен ерекшеленеді, себебі олар ақуыз құрылымын жұмсақ жағдайда ыдыратып, қажетті молекулалық массасы бар пептидтер алуға мүмкіндік береді. Ал ультрадыбыстық өңдеу шикізат құрылымын бұзып, ферменттердің әсер ету аймағын кеңейтеді, нәтижесінде гидролиз процесінің жылдамдығы мен тиімділігі артады. Бұл екі әдісті біріктіріп қолдану өнім шығымын арттырып қана қоймай, оның функционалдық-технологиялық қасиеттерін жақсартуға мүмкіндік береді [13].

Осыған қарамастан, қазіргі таңда құс шикізатынан алынатын ақуыз гидролизаттарының сапасын арттыруға бағытталған ферменттік және ультрадыбыстық өңдеудің оңтайлы параметрлері жеткілікті зерттелмеген. Әртүрлі ферменттердің (мысалы, Протозим С, Коллагеназа, Энзимикс-У) және ультрадыбыстық әсердің жиілік пен уақыт режимдерінің өзара байланысы, олардың ақуыздың шығымы мен физика-химиялық қасиеттеріне әсер ету механизмі нақты айқындалмаған.

Осы мәселені шешу үшін кешенді ғылыми зерттеулер жүргізу, өңдеу параметрлерін оңтайландыру және алынған гидролизаттардың сапалық көрсеткіштерін жүйелі түрде бағалау ерекше маңызға ие. Бұл өз кезегінде тағам өнеркәсібінде жаңа буын функционалдық өнімдерін әзірлеуге мүмкіндік береді.

Осыған байланысты, зерттеу жұмысының негізгі мәселелі сұрағы қандай ферменттік препарат пен ультрадыбыстық өңдеу режимінің үйлесімі құс шикізатынан алынған гидролизаттардың сапалық көрсеткіштерін (ақуыз мөлшері, еру қабілеті, минералдық құрам және т.б.) барынша арттыратынын анықтау болып табылады.

Зерттеу жұмысының мақсаты - құрамында коллаген бар құс шикізатынан тағамдық гидролизаттар алу технологиясын әзірлеп, алынған өнімдердің физика-химиялық, органолептикалық қасиеттерін зерттеу болып табылады.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу объектісі ретінде тауықтың терісі, тауық сүйектері және бұлшықет асқазаны алынды. Бұл шикізат түрлері құсты сою және механикалық бөлшектеу барысында алынған, құрамында ет және дәнекер тіндері бар өнімдер болып табылады.

Шикізатты алдын ала дайындау. Шикізатты алдын ала ұсақтауға ұшыратып сосын барып ферменттеу жүргізілді. Тері, асқазан және сүйектер коллоидтық диірменде ұсақталды. Сүйектер мен аяқтарға су қосылып (су модулі 1:0,5) қатынасында, майдаланып, температураның өсуі (9 °С және 4,8 °С дейін) ұсақтау кезінде бақыланды.

Зерттеу барысында шатасуды болдырмау және нәтижелерді жүйелеу мақсатында тәжірибелік үлгілер үш негізгі блокқа бөлініп қарастырылды:

1. *Фермент концентрациясын таңдау тәжірибесі (1-4 үлгілер):* Тауық сүйектерін әртүрлі концентрациядағы «Протозим С» препаратымен өңдеу (3-кесте).

Коллагенге бай шикізатты ферментативті гидролиздеу кезінде «Протозим С» («Биопрепарат» ЖШҚ) препараты қолданылып тәжірибелер жүргізілді. «Протозим С» протеолитикалық белсенділігі 50000 бірлік/г болатын сілтілі саңырауқұлақ протеазасы, оның жұмыс істеу диапазоны pH 5,5–11,5, оңтайлысы pH 8,0–10,5 болды. Оның жұмыс температурасы 30–70 °С, оңтайлы температурасы 50–60 °С құрайды.

2. *Ультрадыбыстық (УДЗ) өңдеу тәжірибесі (1-7 нұсқалар):* Әртүрлі шикізат түрлеріне УДЗ-ның әсерін зерттеу (4 және 5-кестелер).

Тауықтың терісі, сүйектері, шеміршектері, аяқтары және асқазаны 55 °С температурада 8 сағат бойы ферментативтік өңдеуден өткізілді. Гидролиз үшін «Протозим С» ферменті (шикізат массасының 10%) және «Коллагеназа» (2%) қолданылды. Ультрадыбыстық өңдеу 55 °С температурада, 80 кГц жиілікте 8 сағат бойы жүргізілді. Салыстыру мақсатында ферментация ультрады-

быстық әсерсіз де орындалды.

3. *Кешенді өңдеу тәжірибесі (1-8 үлгілер):* Органолептикалық көрсеткіштерді жақсарту үшін қосымша биопрепараттар (Энзимикс-У, ашытқы, ірімшік сарысуы) қолданылған үлгілер (6 және 7-кестелер).

Зерттеудің келесі бөлігінде алынған барлық үлгілер ферменттеуден кейін сублимациялық кептіру әдісімен кептірілді. Сублимациялық кептіруден кейін гидролизаттардың физика-химиялық және органолептикалық қасиеттері анықталынды.

Физика-химиялық зерттеу әдістері. Жалпы химиялық құрамды анықтау сыналатын үлгінің бір бөлігінің әдісімен жүргізілді. Әдіс өнімнің бір үлгісіндегі ылғалды, майды, күлді және ақуызды, ет және ет өнімдерінің ылғалдылығын және майлылығын жеделдетілген әдіспен анықтауға арналған құрылғыны пайдалана отырып, дәйекті түрде анықтаудан тұрады [14].

Органолептикалық бағалау әдістері. МЕСТ 9959–2015 бойынша органолептикалық бағалау жүргізілді [15].

Статистикалық талдау.

Өлшеу нәтижелерін өңдеу Microsoft Excel 2016 бағдарламасының көмегімен жүзеге асырылды. Ал талдау нәтижелері $p \leq 0,05$ деңгейінде статистикалық тұрғыдан мәнді деп есептелді. Деректер орташа мән ± стандартты ауытқу түрінде ұсынылды.

Нәтижелер мен талқылау. *Коллаген бар шикізатты ферментативті гидролиздеу шарттарын таңдау.*

Тауықтың құрамында коллаген бар шикізаттың химиялық құрамы анықталынды және олардың нәтижелері 1-кестеде көрсетілген.

1-кесте. Коллагенге бай құс шикізатының химиялық құрамы

Үлгілер	Құрамы, %			
	Ылғал	Май	Күлі	Ақуыз
Тауық етінің терісі	51,96±1,55	34,4±0,96	0,14±0,003	13,5±0,36
Тауық сүйектері	68,6±2,05	6±0,15	7,4±0,19	18±0,50
Тауықтың асқазаны	79,0±2,37	3,06±0,07	1,3±0,03	16,64±0,46
Тауық аяғы	65,94±1,97	12,93±0,34	4,02±0,10	17,11±0,46

Зерттеу нәтижесінде химиялық құрамы бойынша ең жоғары ақуыз мөлшері тауық сүйектерінде анықталды. Ал сәл төмен көрсеткіштер болса тауық аяқтары мен асқазандарында байқалса, ал тауық терісінде ақуыз мөлшері ең төмен көрсеткішті көрсетті. Ылғал мөлшері бойынша ең жоғары көрсеткішті тауық асқазандары көрсетті. Майдың мөлшері ең жоғары көрсеткішті тауық терісінде анықталынды. Күл мөлшерінің ең жоғары көрсеткішке тауық сүйектері мен аяқтарында анықталды, ал тауық аяқтарындағы коллаген жалпы ақуыз мөлшерінің 70%-дан 84%-дан астамын құрайды. Тауық терісі, тауық асқазаны, тауық сүйектері, шеміршектері, қанат ұштары мен аяқтары коллагенге бай шикізат түрлері олардың қасиеттері әртүрлі болғандықтан, гидролиздің жеке технологияларын әзірлеу қажет етеді.

Тауық шикізатының pH көрсеткіші 25 °C температурада анықталды. Терінің pH мәні 6,39 болса, сүйектің pH мәні 7,29 және асқазанның pH мәні 6,96, тауық аяқтарының pH мәні 6,0 көретті.

Тауықтың коллагенге бай шикізатын ферменттеу алдында ұсақтауға ұшыратылды. Ең әуелі тауықтың әртүрлі бөліктерінен алынған сүйектерді майдалап бөлшектелінді. Фарш араластырғышта су қосылып, 1:0,5 қатынасында араластырылды, одан соң коллоидтық диірменде майдалап ұнтақтау жүргізілді. Бірінші ұнтақтаудан

кейін шикізаттың температурасы 9 °С көтерілсе, ал қайталама ұнтақтаудан кейін 4,8 °С-қа артты. Тауықтың коллагенге бай шикізатын ұсақтау шарттары 2-кестеде келтірілген.

2-кесте. Тауықтың коллагенге бай шикізатын ұсақтау шарттары

Шикізат атауы	Су модулі	Температурасы, °С		
		Ұсақтағанға дейін	1-ұсақтау	2-ұсақтау
Тауық етінің терісі	сусыз	4	13,5	17,6
Тауық сүйектері	1:0,5	16,8	25	29,8
Тауықтың асқазаны	сусыз	20	23,6	26,7
Тауық аяғы	1:0,5	4,8	9,8	12,8

Коллоидтық диірменде тауық терісін салқындатылған күйде су қоспай ұсақталынды. Бірінші ұсақтаудан кейін шикізат температурасы 9 °С-қа көтерілді, ал қайтадан ұсақтаудан кейін температурасы 4,1 °С-қа артты. Тауықтың асқазанда су қоспай ұсақталынды, бірінші ұсақтаудан кейін шикізат температурасы 3,6 °С-қа көтеріліп, қайталама ұсақтаудан кейін 3,1 °С-қа артты. Салқындатылған тауық аяқтары су қосылып, 1:0,5 қатынасында ұсақталды. Бірінші ұсақтаудан кейін шикізат температурасы 3,6 °С-қа көтерілді, ал қайталама ұсақтаудан кейін 3,1 °С-қа артты.

Ферментативтік гидролиз әдістемесі. Ұшасының әртүрлі бөліктерінен алынған майдалап ұсақталған тауық сүйектері «Протозим С» ферменттік препаратымен өңделді.1-үлгіге шикізат массасына қатысты 2,5% фермент, ал 2-үлгіге – 1%, 3-үлгіге – 0,5%, ал 4-үлгіге – 2% фермент қосылды. Ферменттеу барысы 55 °С температурада 8 сағат бойы жүргізілді. Гидромодуль 1:1, ал pH = 6,5 болды. Содан кейін ферменттерді инактивациялау үшін 85 °С температурада 20 минут бойы қыздырылды.

3-кесте. Тауық сүйектерінің гидролизаттарының химиялық құрамы

Үлгі	Құрамы, %			
	Ылғал	Май	Күл	Ақуыз
1 Үлгі 2,5% «Протозим С»	10,12±0,27	8,34±0,20	22,88±0,59	58,66±1,75
2 Үлгі 1% «Протозим С»	10,96±0,29	8,28±0,20	23,45±0,65	57,31±1,71
3 Үлгі 0,5% «Протозим С»	10,94±0,29	8,35±0,20	24,21±0,67	56,5±1,69
4 Үлгі 2% «Протозим С»	7,14±0,18	6,76±0,01	27,63±0,77	58,77±1,75

Шикізат массасына 2% фермент қосылған үлгі қоюландыруға ұшыратылды. Ал қоюланған өнімді сублимациялық кептіру үшін мұздатуға жіберілді. Сублимациялық кептіру –55 °С температурада және 10 кПа вакуумда жүргізілді. Осылайша алынған құрғақ гидролизаттар кейіннен химиялық құрамын және физика-химиялық қасиеттерін анықтау үшін талдауға алынды.

Тауық сүйектерінен алынған гидролизаттардың химиялық құрамының нәтижесін 3-кестеден көре аламыз.

Тауық сүйектерінен алынған гидролизаттардың химиялық құрамы 3-кестеде келтірілген. Зерттеу барысында әртүрлі концентрациядағы «Протозим С» ферментін қолдану арқылы алы-

нған үлгілердің ылғал, май, күл және ақуыз мөлшерлері салыстырмалы түрде бағаланды.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, барлық үлгілерде ылғал мөлшері 7,14 %-дан 10,96 %-ға дейін аралықта өзгергенін көре аламыз. Ең төмен ылғыл мөлшері 4-үлгіде (7.14%) анықталды, бұл оның қоюландыру үрдісіне ұшырағанымен байланысты болуы мүмкін.

Май мөлшері барлық үлгілерде салыстырмалы түрде тұрақты болып, 6,76%-дан 8,35%-ға дейінгі диапазонда тіркелді. Бұл көрсеткіш фермент концентрациясының май құрамына айтарлықтай әсер етпейтінін көрсетеді.

Күл мөлшері (минералдық заттар) 22,88%-дан 27,63%-ға дейін өзгеріп, ең жоғары мән 4-үлгіде анықталды. Бұл сүйек тінінің минералдық құрамының жоғары болуымен және өңдеу барысында органикалық заттардың ыдырауы нәтижесінде минералдардың салыстырмалы үлесінің артуымен түсіндіріледі.

Ақуыз мөлшері бойынша ең жоғары көрсеткіш 4-үлгіде (58,77%) тіркелді, ал ең төмен көрсеткіш 3-үлгіде (56,5%) байқалды. Бұл нәтижелер фермент концентрациясының артуы гидролиз процесінің тиімділігін жоғарылатып, ақуыздың экстракциялану деңгейін арттыратынын дәлелдейді.

Сонымен қатар, 2,5% және 2% «Протозим С» қолданылған үлгілерде ақуыз мөлшерінің жоғары болуы ферменттің жеткілікті концентрацияда қолданылуы коллаген құрылымының тиімді ыдырауына ықпал ететінін көрсетеді. Ал фермент мөлшері төмендеген жағдайда (0,5–1%) гидролиз деңгейі салыстырмалы түрде төмен болып, ақуыз шығымы да азаятыны байқалды.

Нәтижелер фермент концентрациясы мен технологиялық өңдеу тәсілдері гидролизаттардың химиялық құрамына айтарлықтай әсер ететінін көрсетті. Әсіресе, «Протозим С» ферментінің жоғары концентрациясы мен қосымша технологиялық өңдеу (қоюландыру) гидролизаттағы ақуыз мөлшерін арттырудың тиімді тәсілі болып табылады.

Алынған барлық үлгілерді сублимациялық кептіру әдісі арқылы кептірілді. Тауық сүйектерінен алынған құрғақ гидролизаттардың органолептикалық сапа көрсеткіштері бағаланды. Сыртқы түрі бойынша тәжірибелік үлгілер қоңыр түсті ұсақ ұнтақ түрінде болды. Ал иістері өткір, құс сүйегіне тән болды.

Ультрадыбыстық өрістің ферментация үрдісіне әсерін зерттеу. Тауық терісі, сүйектері, шеміршектері, аяқтары және асқазаны 55 °С температурада 8 сағат бойы өңделді. «Протозим С» ферменті шикізат массасының 10%-ы мөлшерінде, «Коллагеназа» ферменті шикізат массасының 2% мөлшерінде болды.

Ультрадыбыстық өңдеу болса температура 55 °С, 8 сағат бойы, 80 кГц жиілікте жүргізілді. Содан кейін, салыстыру үшін 55 °С температурада 8 сағат бойы ультрадыбыстық әсерсіз ферментация жүргізілді.80 кГц жиілікте кавитациялық көпіршіктер ұсақ болып келеді, бұл жұмсағырақ әрі біркелкі гидродинамикалық әсерді қамтамасыз етеді. Мұндай жұмсақ режим ферменттердің денатурациясын болдырмай, 8 сағат бойы тұрақты жұмыс істеуіне қолайлы жағдай жасады.

Оларды зерттеу үшін келесі нұсқалар дайындалды: 1-ші нұсқада Сүйек (Протозим С + қоюландыру 2%**),** 2-ші нұсқа үшін Сүйек (Протозим С + ультрадыбыс), 3-ші нұсқа үшін Сүйек (Коллагеназа), 4-ші нұсқада Тері (Коллагеназа), 5-ші нұсқада Тері (Протозим С + ультрадыбыс), 6-шы нұсқада Асқазан (Протозим С), 7-ші нұсқада Асқазан (Протозим С + ультрадыбыс) алынды.

Құстың құрамында коллаген бар шикізат гидролизаттарының химиялық құрамы туралы 4-кестедегі мәліметтерге сүйене отырып, шикізатты гидролиздеу процесінде ультрадыбысты қолдану термостаттағы гидролизбен салыстырғанда ақуыз фракциясының шығымын 2% - ға арттырды деген қорытынды жасауға болады.

Тауықтың коллагенге бай шикізатынан алынған құрғақ гидролизаттардың органолептикалық сапа көрсеткіштері кешенді түрде бағаланды. Зерттеу нәтижелері 5-кестеде берілген. Алынған деректер бойынша гидролизаттардың сыртқы түрі, түсі және иіс көрсеткіштері бойынша

салыстырмалы талдауға мүмкіндік берді.

Сыртқы түрін бағалау барысында барлық тәжірибелік үлгілердің ұнтақ тәрізді құрылымда екені анықталды. Өнімдердің көпшілігі біртекті немесе біркелкі құрғақ масса түрінде сипатталып, бұл гидролиз процесінің тиімді өткенін және шикізаттың жеткілікті дәрежеде ыдырағанын көрсетеді. Мұндай құрылым тағамдық қоспалар мен функционалдық ингредиенттер өндірісінде маңызды технологиялық көрсеткіш болып табылады.

4-кесте. Тауықтың коллагенге бай шикізат гидролизаттарының химиялық құрамы

Үлгі	Құрамы, %			
	Ылғал	Май	Күл	Ақуыз
1 Нұсқа	5,29±0,13	8,65±0,22	47,02±1,41	39,04±1,09
2 Нұсқа	5,48±0,13	8,87±0,23	48,89±1,46	36,76±1,10
3 Нұсқа	5,68±0,14	8,49±0,22	49,42±1,48	36,41±1,02
4 Нұсқа	5,09±0,12	34,93±1,04	26,57±0,74	33,41±0,90
5 Нұсқа	5,03±0,12	35,01±0,98	23,05±0,62	37,00±1,03
6 Нұсқа	5±0,13	3,35±0,08	3,96±0,10	87,69±2,54
7 Нұсқа	5±0,14	3,23±0,08	4,39±0,11	87,38±2,62

Түсі бойынша тәжірибелік үлгілер арасында айқын айырмашылықтар байқалды. Гидролизаттардың түсі ашық қоңырдан қою сарғышқа дейін өзгеріп отырды. Кейбір үлгілерде ашық-қоңыр және сүт түстес реңктер тіркелді, бұл шикізаттың түріне, өңдеу режиміне және гидролиз тереңдігіне тікелей байланысты. Қою сарғыш түсті үлгілерде ақуыздық фракциялардың концентрациясы жоғары болуы мүмкін деген болжам жасалады.

Иіс көрсеткіші зерттеу барысында маңызды органолептикалық параметр ретінде қарастырылды. Барлық тәжірибелік үлгілерде жалпы алғанда шикізатқа тән, айқын немесе әлсіз иіс байқалды. Бірқатар үлгілерде иіс өткір сипатта болса, кейбірінде оның қарқындылығы төмен болып, табиғи және әлсіз иіс ретінде бағаланды. Атап айтқанда, асқазаннан алынған гидролизаттарда иістің әлсіз болуы олардың бастапқы шикізат құрамының ерекшелігімен және дәнекер тін үлесінің төмен болуымен түсіндіріледі.

Органолептикалық талдау нәтижелері алынған гидролизаттардың сапалық көрсеткіштері шикізат түріне, өңдеу әдісіне және гидролиз процесінің шарттарына тәуелді екенін көрсетті. Бұл деректер коллагенге бай құс шикізатынан алынатын өнімдердің технологиялық қасиеттерін оңтайландыруда маңызды ғылыми негіз болып табылады.

Өнімнің органолептикалық көрсеткіштерін жақсарту үшін және ақуыздың шығуын арттыру мақсатында «Энзимикс-У» препаратын, ірімшік сарысуын және наубайханалық ашытқыларын пайдаланып тәжірибелер жүргізілді.

Зерттеу барысында 1-үлгіде су модулі 1:2 қатынасы бойынша, жұқа ұсақталған тері наубайханалық ашытқылармен өңделді. Өңдеу термостатта 40 °С температурада 18 сағат бойы жүргізілді. Содан кейін ерітінді төгіліп, тері сумен жуылды. Тері қалдығы «Коллагеназа» («Биопрепарат») ферменттік препаратымен тері қалдығы шикізат массасының 2% және 55 °С температурада 6 сағатта ферменттелді.

«Энзимикс-У», ірімшік сарысуы және наубайханалық ашытқыларды қолдану арқылы органолептикалық көрсеткіштер мен ақуыз шығымын арттыру әдісі.

5-кесте. Тауықтың коллагенге бай шикізат гидролизаттарының органолептикалық көрсеткіштері

Көрсеткіштің атауы	1 Нұсқа	2 Нұсқа	3 Нұсқа	4 Нұсқа	5 Нұсқа	6 Нұсқа	7 Нұсқа
Сыртқы түрі	Ұнтақ тәрізді, біртекті масса	Ұнтақ, біркелкі құрылымды	Ұнтақ, біртекті	Ұнтақ, біркелкі	Ұнтақ, біркелкі құрғақ масса	Ұнтақ, біркелкі құрылымды	Ұнтақ, біркелкі
Түсі	Ашық қоңыр	Қоңыр	Ашық-қоңыр	Сүт түстес	Қою сарғыш	Қою сарғыш	Ашық сарғыш
Иісі	Өткір, шикізатқа тән	Өткір иісті	Шикізатқа тән, өткір	Өткір, шикізатқа тән	Шикізатқа тән, өткір	Шикізатқа тән	Табиғи, әлсіз иісті

2-үлгі бойынша тауық аяқтарын 20 % «Протозим С» препаратымен 55 °С температурада 3 сағат бойы ультрадыбыстық өрісте жиілігі 37 кГц-те ферменттелді.

3-үлгі бойынша тауық аяқтарына 40% мөлшерде «Протозим С» препаратымен ультрадыбыстық өрісте 55 °С температурада 3 сағат бойы 37 кГц ферменттелінді.

4-үлгі бойынша тауық аяқтарына 40% мөлшерде «Протозим С» препаратымен 55 °С температурада 6 сағат бойы ферменттелінді.

5-үлгі бойынша тауық аяқтарын 20% мөлшерде «Протозим С» препаратымен 55 °С температурада 6 сағат бойы ферменттелінді.

6-үлгі бойынша тауық аяқтары мен сүйектері 1:1 қатынасында араластырылып, 15% мөлшерде шикізат массасына шаққанда «Протозим С» препаратымен 55 °С температурада 6 сағат бойы ферменттелінді.

7-үлгі бойынша тері «Энзимикс-У» препаратымен, ірімшік сарысуында (өндіруші – «Зайтенов» ЖК, Абай облысы) сұйылтылған күйде өңделді. Оны 40 °С температурада 16 сағат бойы термостатта өңдеу жүргізілді. Содан кейін сарысу төгіліп, тері жуылды, шикізат массасына шаққанда 10% мөлшерде «Протозим С» ферменті қосылып араластырылып, 55 °С температурада 6 сағат бойы ферменттелінді.

8-үлгі бойынша тауық аяқтарын су модулі 1:1 қатынасында «Энзимикс-У» препаратымен ірімшік сарысуында, 36 °С температурада өңделді. «Энзимикс-У» мөлшері шикізат массасының 0,02%-ын құрады. Ал ферменттеу болса, 55 °С температурада 6 сағат бойы жүргізілді.

Ал тауық аяқтарын жеке өңдеу (2 және 3-үлгілер) кезінде төменгі 37 кГц жиілік қолданылып, әсер ету уақыты 3 сағатқа дейін қысқартылды. Төменгі жиіліктегі (37 кГц) акустикалық кавитация әлдеқайда үлкен көпіршіктер түзіп, күшті механикалық соққылар мен ығысу күштерін тудырады. Бұл тауық аяғы сияқты өте тығыз, кеуектілігі төмен коллагенді матрицаны бұзу үшін өте тиімді болды. Механикалық әсердің күштілігіне байланысты қажетті деструкция деңгейіне бар-жоғы 3 сағат ішінде қол жеткізілді, бұл өз кезегінде уақытты үнемдеуге мүмкіндік берді. Осылайша, УДЗ параметрлерінің айырмашылығы шикізаттың тығыздығы мен ферменттік реакцияның оңтайлы кинетикасына тікелей тәуелді болды.

Тәжірибе барысында бірнеше технология бойынша 8 үлгі әзірленгенді. Барлық үлгілер сублимациялық кептіру әдісімен кептірілді және олар ұнтақ түрінде болды. Түсі бойынша үлгілердің басым бөлігі қоңыр және ашық-қоңыр реңкті, ал 1-үлгі сүт түстес, 6-үлгі қою сарғыш-қоңыр түсті болып сипатталды. Ал иісіне келсек, 1, 7 және 8 үлгілерде бөгде иіс байқалмаған еді, ал қалған үлгілерде шикізатқа тән табиғи иіс бол-

ды.

Алынған гидролизаттардың органолептикалық сипаттамалары олардың біртекті ұнтақ консистенцияда екенін және қолданылған өңдеу әдістеріне байланысты түс пен иіс көрсеткіштерінде аздаған айырмашылықтар бар екенін көрсетті.

Сонымен қатар, сублимациялық кептіру әдісі өнімнің құрылымдық тұрақтылығын сақтауға және оның сапалық қасиеттерін жоғалтпауға мүмкіндік бергені анықталды. Бұл әдіс биологиялық құндылығы жоғары гидролизаттарды алуда тиімді технология ретінде бағаланады.6-кестеде гидролизаттың органолептикалық көрсеткіші көрсетілген.

6-кесте. Гидролизаттың органолептикалық көрсеткіштері

Көрсеткіш атауы	**1 үлгі**	**2 үлгі**	**3 үлгі**	**4 үлгі**	**5 үлгі**	**6 үлгі**	**7 үлгі**	**8 үлгі**
Сыртқы түрі	Ұнтақ, біртекті	Ұнтақ, біркелкі құрғақ масса	Ұнтақ тәрізді, біртекті масса	Ұнтақ, біртекті	Ұнтақ, біріңғай масса	Ұнтақ	Ұнтақ тәрізді, біртекті масса	Ұнтақ, біртекті
Түсі	Сүт түстес	қоңыр	қоңыр	қоңыр	Қоңыр	қою сарғыш-қоңыр түсті	Ашық-қоңыр түсті	Ашық қоңыр түсті
Иісі	Бөгде иісі жоқ	Шикізатқа тән	Шикізатқа тән	Шикізатқа тән	Шикізатқа тән	Шикізатқа тән	Бөгде иіссіз	Бөгде иіссіз

7-кесте. Әртүрлі өңдеу тәсілдерінде алынған гидролизаттардың физика-химиялық сипаттамалары

Үлгі	**Ылғал мөлшері, %**	**Май мөлшері, %**	**Күл мөлшері, %**	**Ақуыз мөлшері, %**
1 үлгі	5,05±0,12	36,74±1,10	24,81±0,66	33,39±0,93
2 үлгі	6,47 ± 0,16	9,10 ± 0,23	40,41 ± 1,13	44,02 ± 1,32
3 үлгі	5,95 ± 0,14	9,81 ± 0,25	47,92 ± 1,38	32,32 ± 0,90
4 үлгі	5,95 ± 0,14	9,81 ± 0,25	47,92 ± 1,38	32,32 ± 0,90
5 үлгі	6,47 ± 0,16	9,10 ± 0,23	40,41 ± 1,13	44,02 ± 1,32
6 үлгі	5,29 ± 0,13	8,65 ± 0,22	47,02 ± 1,41	39,04 ± 1,13
7 үлгі	6,14 ± 0,15	4,82 ± 0,12	36,79 ± 0,99	52,25 ± 1,51
8 үлгі	5,68 ± 0,14	8,49 ± 0,22	49,42 ± 1,48	36,41 ± 1,01

Зерттелген үлгілердің физика-химиялық көрсеткіштері қолданылған фермент пен өңдеу тәсіліне байланысты өзгереді. Ең жоғары ақуыз мөлшері 7-үлгіде (52,25%) тіркеліп, бұл Протозим мен Энзимикс ферменттерінің біріктірілген әсерімен түсіндіріледі.

Ең жоғары май мөлшері 1-үлгіде (36,74%)

байқалды, ал күл мөлшері ең көп 8-үлгіде (49,42%) және 3-үлгіде (47,92%) анықталды. Бұл сүйек ұлпасының минералды құрамының жоғары болуымен байланысты.

Барлық үлгілерде ылғал мөлшері төмен (5-6%) деңгейінде сақталған, бұл құрғақ заттардың үлесінің басымдығын көрсетеді. Жалпы алғанда, фермент түрі мен өңдеу режимі өнімнің құрамдық сапасына елеулі әсер етеді.

Осылайша, алынған нәтижелер құрамында коллаген бар құс шикізатын әртүрлі ферментативтік және физикалық әдістермен өңдеу гидролизаттардың химиялық құрамына айтарлықтай әсер ететінін көрсетті.

Зерттелген үлгілердің физика-химиялық көрсеткіштері қолданылған ферменттік препараттар мен өңдеу технологиясына тікелей тәуелді екені анықталды. (7-кесте). Бұл өз кезегінде гидролиз процесінің тиімділігі шикізаттың биохимиялық құрамын айтарлықтай өзгертетінін көрсетеді.

Ең жоғары ақуыз мөлшері 7-үлгіде (52,25%) тіркелді. Бұл көрсеткіш Протозим және Энзимикс ферменттерінің біріктірілген әсерімен, сондай-ақ ультрадыбыстық өңдеудің ықтимал каталитикалық ықпалымен түсіндіріледі. Мұндай комбинация коллаген құрылымын тиімді ыдыратып, ерігіш ақуыздардың шығымын арттырады.

Ең жоғары май мөлшері 1-үлгіде (36,74%) байқалды. Бұл үлгіде гидролиз деңгейінің салыстырмалы түрде төмен болуы май фракциясының толық ыдырамауына әкелгенін көрсетеді.

Күл (минералдық) мөлшері ең жоғары көрсеткіш 8-үлгіде (49,42%) және 3-үлгіде (47,92%) анықталды. Бұл нәтижелер сүйек тінінің жоғары минералдануымен және сүйек ұлпасынан алынған шикізаттың үлес салмағымен тікелей байланысты.

Барлық үлгілерде ылғал мөлшері төмен деңгейде (5-6%) сақталған. Бұл сублимациялық кептіру әдісінің тиімділігін және өнімнің құрғақ заттар үлесінің жоғары екенін дәлелдейді.

2, 5 және 7 үлгілерде ақуыз мөлшері салыстырмалы түрде жоғары (44,02–52,25%) көрсеткіштерге ие болды. Бұл ферменттік өңдеу режимдерінің оңтайлы үйлесімі нәтижесінде протеиндердің терең гидролизге ұшырап, ерігіш пептидтерге айналуымен түсіндіріледі. Ал 3, 4 және 8 үлгілерде ақуыз мөлшері орташа деңгейде (32,32–36,41%) байқалды, бұл гидролиз процесінің салыстырмалы түрде баяу немесе толық емес жүруімен байланысты болуы мүмкін.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер фермент түрі мен өңдеу режимінің өнімнің құрамдық сапасына айтарлықтай әсер ететінін дәлелдейді. Осылайша, құрамында коллаген бар құс шикізатын әртүрлі ферментативтік және физикалық өңдеу әдістері арқылы қайта өңдеу гидролизаттардың химиялық құрамын мақсатты түрде өзгертуге және олардың функционалдық қасиеттерін жақсартуға мүмкіндік береді.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу нәтижелерін қорыта келгенде, құрамында коллаген бар құс шикізаты соның ішінде тауық терісі, сүйектері, асқазаны мен аяқтарын ферментативтік жолмен өңдеу тағамдық гидролизаттар алудың тиімді тәсілі болып табылады.

Тәжірибе барысында «Протозим С», «Коллагеназа» және «Энзимикс-У» ферменттерінің шикізатқа әсері салыстырмалы түрде зерттелді. Алынған нәтижелер ферменттік өңдеу параметрлерінің өнім сапасына айтарлықтай ықпал ететінін көрсетті.

Шикізаттың фермент концентрациясын арттыру, ультрадыбыстық (УДЗ) өңдеуді қолдану және қосымша биопрепараттарды (ашытқылар мен ірімшік сарысуы) енгізу ақуыз мөлшерінің едәуір жоғарылауына әкелетіні анықталды.

Атап айтқанда, тауық терісі үлгілерінде (Протозим 10% + Энзимикс-У) ақуыз мөлшері ең жоғары көрсеткішке ие болды, бұл осы комбинацияның коллаген құрылымын тиімді ыдыратынын және ақуыз шығымын арттыратынын дәлелдейді.

Ал сүйек гидролизаттарында минералдық заттардың үлесі жоғары екені байқалды, бұл олардың морфологиялық ерекшелігімен және сүйек тінінің табиғи минералдану деңгейімен түсіндіріледі.

Ультрадыбыстық (УДЗ) өңдеу кейбір шикізат түрлерінде, әсіресе тері мен сүйек үлгілерінде, гидролиз процесінің тиімділігін арттырды. Сонымен қатар, ол ферменттердің шикізатқа енуін жеңілдетіп, жалпы гидролиз жылдамдығын жоғарылатты. Нәтижесінде алынған үлгілердің органолептикалық қасиеттері жақсарып, дәмі мен иісі жағынан жұмсақ әрі жағымды сипатқа ие болды.

Жалпы алғанда, зерттеу нәтижесінде алынған коллагені бар құс шикізатын кешенді биотехнологиялық өңдеу арқылы жоғары ақуызды тағамдық гидролизаттар алуға болатынын көрсетеді. Мұндай өнімдер тағам өнеркәсібінде, биологиялық белсенді қоспалар мен функционалды тағамдар өндіруде перспективалы болып келеді.

Қаржыландыру. *Зерттеу ҚР Ғылым және жоғары білім министрлігінің қаржылық қолдауымен № BR24992938 ғылыми жобасы аясында орындалды.*

Әдебиеттер

1. Schmidt M. M. et al. Ultrasound as an alternative method to increase the extraction yield from chicken mecanically separated meatresidue collagen//Journal of Food Science and Technology. - 2021. - Vol.58. - No.7. - P.2487-2496. DOI 10.1007/s13197-020-04755-1.

2. Santana J. C. C., Gardim R. B., Almeida P. F., Borini G. B., Quispe A. P. B., Llanos S. A. V., Heredia J. A., Zamuner S., Gamarra F. M. C., Farias T. M. B., Ho L. L., Berssaneti F. T. Valorization of chicken feet by-product of the poultry industry: High qualities of gelatin and biofilm from extraction of collagen // Polymers. -2020. -Vol.12(3):529. DOI 10.3390/polym12030529.

3. Cliché S., Amiot J., Avezard C., Gariépy C. Extraction and characterization of collagen with or without telopeptides from chicken skin//Poultry Science. - 2003. - Vol.82(3). - P.503–509. DOI 10.1093/ps/82.3.503.

4. Munasinghe K., Schwarz J., Nyame A. Chicken collagen from low market value by-products as an alternate source// International Journal of Food Science. - 2014. - No.1. - P.1-6. DOI 10.1155/2014/298295.

5. Arunmozhivarman K., Abraham R., Rao V., Parthiban M. Extraction and characterization of collagen from poultry meat processing by-product (chicken skin)// International Journal of Pure & Applied Bioscience. - 2017. - Vol.5(5). - P.1085–1091.DOI 10.18782/2320-7051.5337.

6. Dhakal D., Koomsap P., Lamichhane A., Sadiq M., Anal A. Optimization of collagen extraction from chicken feet by papain hydrolysis and synthesis of chicken feet collagen based biopolymeric fibres//Food Bioscience. - 2018. - Vol.23. - P.23-30. DOI 10.1016/j.fbio.2018.03.003.

7. Zhou C., Yanhua L., Yu X., Yang H., Yagoub A., Cheng Y., Hu J., Otu P. Extraction and characterization of chicken feet soluble collagen// LWT. - 2016. - Vol.74. - P.145–153. DOI 10.1016/j.lwt.2016.07.024.

8. Hashim P., Ridzwan M., Bakar J. Isolation and Characterization of Collagen from Chicken Feet// World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering. - 2014. - Vol.8. - P.250-254. URL: https://www.semanticscholar.org. Accessed on April 2 of 2026.

9. Prokopová A., Gál R., Mokrejš P., Pavlačková J. Preparation of Gelatin from Broiler Chicken Stomach Collagen // Foods. - 2023. - Vol. 12(1): 127. DOI 10.3390/foods12010127.

10. Polaštíková A., Gál R., Mokrejš P., Orsavová J. Preparation of protein products from collagen-rich poultry tissues // Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. - 2020. - Vol.14. - P.713-720. DOI 10.5219/1319.

11. Рощина А. Д., Шульгина Л. В. Комбинированные консервы функционального назначения на основе куриных желудков и фасоли // Международная научно-практическая конференция «Потре-

бительский рынок XXI-го века: стратегии, технологии, инновации». - Хабаровск: РИЦ ХГУЭП, 2015. - С.43-45.URL: https://share.google. Дата обращения: 29.12.2025.

12. Bravo F. I. et al. Valorization of chicken slaughterhouse byproducts to obtain antihypertensive peptides//Nutrients. - 2023. - Vol.15(2): 457. DOI 10.3390/nu15020457.

13. Lasekan A., Bakar F. A., Hashim D. Potential of chicken by-products as sources of useful biological resources//Waste management. - 2013. - Vol.33(3). - P.552-565. DOI 10.1016/j.wasman.2012.08.001.

14. Антипова Л.В., Глотова И.А., Рогов И.А. Методы исследования мяса и мясных продуктов. - М.: Колос. -2004. - 571 С. ISBN: 5-9532-0187-7.

15. ГОСТ 9959–2015. Мясо и мясные продукты. Общие условия проведения органолептической оценки. - Москва: Стандартинформ, 2016. - 19 С. URL:https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293756/4293756013.htm. Дата обращения: 29.12.2025.

References

1. Schmidt M. M. et al. Ultrasound as an alternative method to increase the extraction yield from chicken mecanically separated meatresidue collagen//Journal of Food Science and Technology. - 2021. - Vol.58. - No.7. - P.2487-2496. DOI 10.1007/s13197-020-04755-1.

2. Santana J. C. C., Gardim R. B., Almeida P. F., Borini G. B., Quispe A. P. B., Llanos S. A. V., Heredia J. A., Zamuner S., Gamarra F. M. C., Farias T. M. B., Ho L. L., Berssaneti F. T. Valorization of chicken feet by-product of the poultry industry: High qualities of gelatin and biofilm from extraction of collagen // Polymers. -2020. -Vol.12(3):529. DOI 10.3390/polym12030529.

3. Cliché S., Amiot J., Avezard C., Gariépy C. Extraction and characterization of collagen with or without telopeptides from chicken skin//Poultry Science. - 2003. - Vol.82(3). - P.503–509. DOI 10.1093/ps/82.3.503.

4. Munasinghe K., Schwarz J., Nyame A. Chicken collagen from low market value by-products as an alternate source// International Journal of Food Science. - 2014. - No.1. - P.1-6. DOI 10.1155/2014/298295.

5. Arunmozhivarman K., Abraham R., Rao V., Parthiban M. Extraction and characterization of collagen from poultry meat processing by-product (chicken skin)// International Journal of Pure & Applied Bioscience. - 2017. - Vol.5(5). - P.1085–1091.DOI 10.18782/2320-7051.5337.

6. Dhakal D., Koomsap P., Lamichhane A., Sadiq M., Anal A. Optimization of collagen extraction from chicken feet by papain hydrolysis and synthesis of chicken feet collagen based biopolymeric fibres//Food Bioscience. - 2018. - Vol.23. - P.23-30. DOI 10.1016/j.fbio.2018.03.003.

7. Zhou C., Yanhua L., Yu X., Yang H., Yagoub A., Cheng Y., Hu J., Otu P. Extraction and characterization of chicken feet soluble collagen// LWT. - 2016. - Vol.74. - P.145–153. DOI 10.1016/j.lwt.2016.07.024.

8. Hashim P., Ridzwan M., Bakar J. Isolation and Characterization of Collagen from Chicken Feet// World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering. - 2014. - Vol.8. - P.250-254. URL: https://www.semanticscholar.org. Accessed on April 2 of 2026.

9. Prokopová A., Gál R., Mokrejš P., Pavlačková J. Preparation of Gelatin from Broiler Chicken Stomach Collagen // Foods. - 2023. - Vol. 12(1): 127. DOI 10.3390/foods12010127.

10. Polaštíková A., Gál R., Mokrejš P., Orsavová J. Preparation of protein products from collagen-rich poultry tissues // Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. - 2020. - Vol.14. - P.713-720. DOI 10.5219/1319.

11. Roshhina A. D., Shul’ gina L. V. Kombinirovannye konservy funkcional’ nogo naznachenija na osnove kurinyh zheludkov i fasoli // Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija «Potrebitel’ skij rynok XXI-go veka: strategii, tehnologii, innovacii». - Habarovsk: RIC HGUJeP, 2015. - S. 43-45.URL: https://share.google. Data obrashhenija: 29.12.2025.

12. Bravo F. I. et al. Valorization of chicken slaughterhouse byproducts to obtain antihypertensive peptides//Nutrients. - 2023. - Vol.15(2): 457. DOI 10.3390/nu15020457.

13. Lasekan A., Bakar F. A., Hashim D. Potential of chicken by-products as sources of useful biological resources//Waste management. - 2013. - Vol.33(3). - P.552-565. DOI 10.1016/j.wasman.2012.08.001.

14. Antipova L.V., Glotova I.A., Rogov I.A. Metody issledovanija mjasa i mjasnyh produktov. - M.: Kolos. -2004. - 571 C. ISBN: 5-9532-0187-7.

15. GOST 9959–2015. Mjaso i mjasnye produkty. Obshhie uslovija provedenija organolepticheskoj ocenki. - Moskva: Standartinform, 2016. - 19 C. URL:https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293756/4293756013.htm. Data obrashhenija: 29.12.2025.

Авторлар туралы мәлімет

Суйчинов А.К. - PhD, директор, «Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ғылыми зерттеу институты» ЖШС Семей филиалы, Семей, Қазақстан, e-mail: asuychinov@gmail.com;

Кәкімов А. Қ. – техника ғылымдарының докторы, профессор, «Шәкәрім университеті» КЕҚ, Қазақстан, Семей, Қазақстан, e-mail: bibi.53@mail.ru;

Окусханова Э. Қ. – қауымдастырылған профессор, PhD, «Шәкәрім университеті» КЕҚ, Семей, Қазақстан, e-mail: eokuskhanova@gmail.com;

Қапашева Г.Ә. – техника ғылымдарының магистрі, ғылыми қызметкер, «Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ғылыми зерттеу институты» ЖШС Семей филиалы, Семей, Қазақстан, e-mail: gena.89.89@mail.ru.

Information about the authors

Suychinov A.K. - PhD, director, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry (Semey Brunch), Semey, Kazakhstan, e-mail: asuychinov@gmail.com;

Kakimov A. K. - Doctor of Technical Sciences, professor, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry (Semey Brunch), Semey, Kazakhstan, e-mail: bibi.53@mail.ru;

Okuskhanova E.K. - Associate Professor, PhD, NAO ”Shakarim University”, Semey, Kazakhstan, e-mail: eokuskhanova@gmail.com;

Kapasheva G. A. – Master of Technical Sciences, researcher, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry (Semey Brunch), Semey, Kazakhstan, e-mail: gena.89.89@mail.ru.

ҒТАМР 65.63.03 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1450**

ӨСІМДІК СЫҒЫНДЫСЫМЕН БАЙЫТЫЛҒАН ТҮЙЕ ЖӘНЕ БИЕ СҮТІ НЕГІЗІНДЕ СУБЛИМАЦИЯЛАНҒАН ӨНІМДЕРДІҢ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ

А.А. Жельдыбаева, Н. Акжанов✉, М.Ж. Султанова, Ә.С. Сәдуақас, М.А. Якияева, Б.А. Изтаев

Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ҒЗИ» ЖШС, Астана, Қазақстан

✉ *Корреспондент-автор:nurtore0308@gmail.com*

Осы мақалада құрғақ түйе және бие сүтін негізге ала отырып, өсімдік сығындысымен байытылған функционалды тағамдық өнімдер өндіру технологиясын ғылыми тұрғыдан әзірлеу қарастырылды. Мақалада сүттің сапалық қасиеттерін сақтау мен биологиялық белсенділігін арттыруға бағытталған тәжірибелік әдістер қолданылды. Алынған сүт үлгілері алдын ала механикалық қоспалардан тазартылып, біртекті құрылымға келтірілу үшін сүзгіден өткізіліп, жұмсақ гомогенизациядан өтті, кейін −60°C температурада мұздатылып, сублимациялық кептіру арқылы құрғақ күйге айналды. Сонымен қатар, зерттеуде грек жаңғағы қабығы сығындысы қолданылып, өнімдердің функционалды құндылығын арттыруға бағытталған өзгеріс енгізілді.

Зерттеу барысында әзірленген өнімдердің физика-химиялық, витаминдік және минералдық құрамдық көрсеткіштері талданып, сүт пен өсімдік сығындысының өзара әсері бағаланды. Алынған деректер бойынша сублимациялық кептіру әдісі мен өсімдік сығындысының қосылуы өнімнің тағамдық құндылығы мен технологиялық тұрақтылығына оң ықпал ететінін көрсетті. Жүргізілген жұмыстар негізінде функционалды бағыттағы тағамдық өнімдер технологиясын жетілдіру үшін ғылыми негіз қалыптастырады және сүт өнімдерін биологиялық белсенді қоспалармен байытуға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: түйе сүті, бие сүті, физика-химия, витаминдік көрсеткіштер, минералдық құрамы, өсімдік сығындысы, сублимациялық кептіру.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СУБЛИМИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ ВЕРБЛЮЖЬЕГО И КОБЫЛЬЕГО МОЛОКА, ОБОГАЩЕННОГО РАСТИТЕЛЬНЫМ ЭКСТРАКТОМ

А.А. Жельдыбаева, Н. Акжанов✉, М.Ж. Султанова, Ә.С. Сәдуақас, М.А. Якияева, Б.А. Изтаев

Казахский научно - исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности, Астана, Казахстан,
e-mail: nurtore0308@gmail.com

В данной статье описывается научная разработка технологии производства функциональных пищевых продуктов, обогащенных растительными экстрактами, на основе сухого верблюжьего и кобыльего молока. В статье используются экспериментальные методы сохранения качественных свойств и повышения биологической активности молока. Полученный образец молока предварительно очищали от механических примесей, фильтровали для получения однородной структуры, подвергали легкой гомогенизации, затем замораживали при температуре -60°с и переводили в сухое состояние путем сублимационной сушки. Кроме того, в исследовании был использован экстракт скорлупы грецкого ореха, что привело к изменениям, направленным на повышение функциональной ценности продукта.

В ходе исследования были проанализированы физико-химические, витаминные и минеральные параметры разработанного продукта и проведена оценка взаимодействия молока с растительными экстрактами. Полученные данные показали, что метод лиофилизации и добавление растительных экстрактов положительно влияют на пищевую ценность и техническую стабильность продукта. На

основе проделанной работы будет сформирована научная база, позволяющая усовершенствовать технологию производства функциональных продуктов питания и обогатить молочные продукты биологически активными добавками.

Ключевые слова: верблюжье молоко, кобылье молоко, физико-химические, витаминные показатели, минеральный состав, растительный экстракт, сублимационная сушка.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR FREEZE-DRIED PRODUCTS BASED ON CAMEL AND MARE' S MILK, ENRICHED WITH PLANT EXTRACT

A.A. Zheldybayeva, N. Akzhanov✉, M.Zh. Sultanova, A.S. Saduakas, M.A. Yakiyaeva, B.A. Iztaev

Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry, Astana, Kazakhstan, e-mail: nurtore0308@gmail.com

This article describes the scientific development of a technology for the production of functional food products enriched with plant extracts based on dried camel and mare' s milk. The article uses experimental methods to preserve the qualitative properties and increase the biological activity of milk. The resulting milk sample was pre-purified from mechanical impurities, filtered to obtain a homogeneous structure, subjected to light homogenization, then frozen at a temperature of -60 ° C and dried by freeze drying. In addition, walnut shell extract was used in the study, which led to changes aimed at increasing the functional value of the product.

The study analyzed the physico-chemical, vitamin and mineral parameters of the developed product and evaluated the interaction of milk with plant extracts. The data obtained showed that the lyophilization method and the addition of plant extracts have a positive effect on the nutritional value and technical stability of the product. Based on the work done, a scientific base will be formed to improve the technology of production of functional food products and enrich dairy products with biologically active additives.

Keywords: camel' s milk, mare' s milk, physico-chemical, vitamin parameters, mineral composition, vegetable extract, freeze drying.

Кіріспе. Қазіргі уақытта бие және түйе сүті негізінде өсімдік текті биологиялық белсенді заттармен байытылған құрғақ ұнтақ өнімдер алу технологияларын әзірлеу тағам биотехнологиясы мен функционалдық тағам өндірісінің маңызды ғылыми бағыттарының бірегейі болып табылады. Әсіресе фенолдық қосылыстарға және жоғары антиоксиданттық белсенділікке ие грек жаңғағының (Juglans regia L.) қабығынан алынатын экстракттарды сүт негізіндегі жасалатын өнімдердің биологиялық құндылығын арттырудың перспективалы тәсілі ретінде қарастырылады. Осы тұрғыдан алғанда, бие және түйе сүті негізінде грек жаңғағы қабығының экстрактымен байытылған құрғақ ұнтақ өнімдер алу технологиясын әзірлеу кезінде кептіру әдістерінің физика-химиялық және функционалдық қасиеттерге әсерін ғылыми негіздеу барысында ерекше өзектілікке ие.

Бие сүті негізіндегі құрғақ өнімдерді сублимациялық кептіру арқылы алу мүмкіндіктерін Cais-Sokolińska, Teichert және Gawałek зерттеген. Авторлар қалпына келтірілген сублимациялық кептірілген бие сүтінің химиялық құрамын, көлемдік тығыздығын, көбіктену қабілетін, эмульсия түзу қасиеттерін, сондай-ақ май қышқылдарының атерогендік, тромбогендік және гиперхолестеринемиялық индекстерін анықтаған. Cais-Sokolińska және оның әріптестері сублимациялық кептіру процесі сүттің құрғақ затындағы негізгі компоненттердің арақатынасын өзгертпейтінін және сүт ақуыздарының майды байланыстыру және ұстап тұру қабілетін арттыратынын көрсеткен. Алайда авторлар түзілетін көбіктің тұрақсыз және қысқа мерзімді сипатта болатынын атап өткен. Қалпына келтірілген бие сүтінің липидтік фракциясы төмен атерогендік және тромбогендік индекстермен сипатталатыны көрсетілген [1].

Бие сүтін шашырата кептіру кезінде техно-

логиялық режимдердің дайын өнім сапасына әсерін Smolentsev және оның әріптестері зерттеген [2]. Авторлар тәжірибелік деректер негізінде кептіргішке кірер ауаның температурасы 180 °C және шығыс ауаның температурасы 70–80 °C болатын режимді оңтайлы деп анықтаған. Smolentsev және әріптестерінің нәтижелері бойынша, дәл осы жағдайда алынған құрғақ бие сүті жоғары ерігіштікпен, бөлшектер өлшемінің салыстырмалы біркелкілігімен және стандарт талаптарына сәйкес келетін төмен ылғалдылық көрсеткішімен сипатталады. Сонымен қатар авторлар кептіру алдындағы термиялық өңдеудің, әсіресе пастерлеу температурасының, дайын ұнтақ өнімнің физика-химиялық көрсеткіштеріне айтарлықтай ықпал ететінін және пастерлеу температурасын 60 °C-тан асырмау қажеттігін негіздеген [2].

Сүт негізіндегі ұнтақ өнімдерді биологиялық белсенді липидтермен байыту және микрокапсулалау мәселелерін Gawałek, Cais-Sokolińska және Teichert зерттеген. Авторлар сиыр және бие сүті негізінде зығыр майын сублимациялық кептіру әдісімен микрокапсулалау арқылы алынған ұнтақ өнімдердің физика-химиялық, құрылымдық және тағамдық қасиеттерін салыстырмалы түрде бағалаған. Gawałek және оның әріптестері байытылған өнімдерде ылғал мөлшері мен су белсенділігінің азаятынын, насыптық және көрінерлік тығыздықтың артатынын, сондай-ақ қалпына келтірілген эмульсия тамшыларының өлшемдерінің кішірейетінін көрсеткен. Сонымен бірге авторлар бие сүті негізіндегі өнімдердің липидтік профилі атерогендік және тромбогендік индекстердің төмен мәндерімен сипатталатынын және май қышқылдарының денсаулық үшін қолайлы арақатынасының қалыптасатынын дәлелдеген [3].

Бие және түйе сүті негізіндегі құрғақ ұнтақ өнімдер технологиясын дамыту барысында уыз бен сүттің химиялық құрамын және липидтік профилін зерттеу де маңызды болып табылады. **Barreto және әріптестері** квотерхорс тұқымды 34 таза биенің уызы мен сүтін зерттеп, олардың химиялық құрамын, ақуыз және лактоза мөлшерін анықтаған. Уыз бірінші алты сағат ішінде алынған, ал сүт 7-ші күннен бастап лактацияның соңына дейін әр 14 күн сайын алынған. Зерттеу нәтижелері бойынша уызда ақуыз мөлшері жоғары, ал лактоза мөлшері төмен, ал биенің жасы сүт құрамына әсер етпейтінін көрсетті. Дегенмен, лактация сатысы және жемізгіштердің туған реттілігі химиялық құрамға әсер ететіндігі анықталған. Липидтік құрам лактация сатысына қарай өзгергенімен, сүттің негізгі липидтік профилі сақталып, оның қоректік құндылығы төмендемеген. Бұл мәліметтер бие сүті негізіндегі құрғақ өнімдер мен функционалдық ингредиенттерді енгізу кезінде сүттің табиғи құндылығын сақтау маңызды екенін көрсетеді [4].

Сондай-ақ құрғақ бие сүтінің физика-химиялық және функционалдық қасиеттерін жақсарту мүмкіндіктерін **Sari және әріптестері** [5] зерттеген. Авторлар Сумбава мару сүтін вакуумдық кептіру (VFOD) әдісімен құрғақ ұнтаққа айналдырып, оған декстринді әртүрлі концентрацияларда (15%, 20%, 25%, 30%) қосқан. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, декстрин қосу pH, эмульсияның тұрақтылығы және суда ерігіштікке айтарлықтай әсер етеді, алайда май ұстап тұру, су ұстамдылық және эмульсия активтілігіне айтарлықтай әсері болмаған. Оптималды нәтижесі 15% декстрин қосылған үлгілерде алынған: эмульсияның максималды тұрақтылығы 0,46, судың максималды мазмұны 5,25% болып, микроструктурасы FESEM арқылы зерттегенде ең біркелкі және ұсақ бөлшектерден тұрғаны анықталған. Бұл зерттеу құрғақ бие сүтінің құрылымдық сапасын арттыру, ерігіштік пен эмульсия тұрақтылығын сақтау үшін декстринді дұрыс мөлшерде қолдану маңызды екенін көрсетеді [5].

Ферменттелген бие сүтінің дәстүрлі монгольдік медицинадағы (чиге) қасиеттерін зерттеген **Guo және әріптестері** 188 үлгіні талдап, лактозаның 6,95 ± 0,45 % деңгейінен 2,82 ± 1,65 %-ға төмендегенін, ал қышқылдылық пен алкоголь мөлшерінің артқанын анықтаған. Микробиологиялық талдау бойынша жалпы сүт қышқыл бактериялары 5,32–8,56 log КОЕ/мл, ашытқы 2,41–6,98 log КОЕ/мл аралығында болған. Бұл зерт-

теу чиге өндірісін стандарттау және индустриялық масштабқа шығару үшін маңызды мәліметтер берген [6].

Антиоксиданттық қасиеттеріне қатысты **Abarshi және әріптестері** ферменттелген, пастерленген және шикі бие сүтінің DPPH және FRAP тесттері арқылы зерттеген. Ферменттелген сүт ең жоғары антиоксиданттық белсенділікті көрсетті (63,04 ± 6,85 % және 0,822 ± 0,10), пастерленген сүт екінші орынға шықты, ал шикі сүт ең төменгі белсенділікке ие болды. Сонымен қатар, уақыт өте келе барлық үлгілерде антиоксиданттық белсенділік төмендеген. Бұл зерттеу ферменттелген бие сүтін функционалды тағам ретінде қолдануға және тотығу стресспен байланысты ауруларды емдеуге қолдануға болатынын көрсетті [7].

Но және оның зерттеу тобы шашыратқыш кептірілген түйе сүтінің жаңа ұнтақтары аморфты құрылымға ие екенін, үлкен сфералық бөлшектерден тұратынын және суда шамамен 100 % ерігіш екенін көрсетті.37 °C температурада және 11–32 % салыстырмалы ылғалдылықта 18 апта бойы сақтау кезінде ылғал мөлшері төмендеп, лактозаның шынылануы байқалған. Сонымен қатар, ақуыздардың екінші құрылымы α-спиральден β-листтер мен β-виткаларға ауысқан, ал түс параметрлері мен морфология шамалы өзгерген [8].

Сублимациялық және шашыратқыш кептірудің әсерін салыстыра отырып, **Deshwal және зерттеушілері** түйе сүтінің ұнтақтарының физика-химиялық қасиеттерін зерттеді. Лиофилизирленген өнімдерде кальций (15,33 г/кг) және темір (0,012 г/кг) жақсы сақталған. Морфология айырмашылығы байқалды: сублимациялық кептірілген ұнтақ кеуекті пластинді құрылымға ие болса, шашыратқыш кептірілген өнімдер сфералық бөлшектердің агломератынан тұрады. Сонымен қатар, сублимациялық кептірілген ұнтақтар суды жақсы ұстап тұру қабілетіне ие болды [9].

Кептіру процесінің параметрлерін зерттеген **Sulieman және зерттеушілері** түйе сүтін 20–30 % құрғақ затқа дейін концентрлап, шашыратқыш кептірілген ұнтақтардың физика-химиялық қасиеттерін, оның ішінде судың белсенділігін (0,154–0,208), ерігіштігі мен өтімділігін бағалады. Сонымен қатар, сүтті беру бағыты өнімнің өтімділігі мен өнімділігін өзгертетінін көрсетті [10].

Habtegebriel және оның зерттеу тобы шашыратқыш кептірудің параметрлері (ауа температурасы, ауа ағыны және жалпы құрғақ зат мөлшері) насыптық тығыздыққа, шыны температурасына және ақуыздардың ерігіштігіне қалай әсер ететінін зерттеді. Сканирлеу электрондық микроскопиясы май бөлшектерінің бетінде сырғанау процесінде рөл атқаратынын дәлелдеді [11].

Сублимациялық және шашыратқыш кептіруді салыстыра отырып, **Tastemirova және оның зерттеу тобы** құрғақ түйе сүтінің сапасы мен функционалдық қасиеттерін талдады. Тағамдық қасиеттері кептірілген өнімде салыстырмалы түрде өзгермеген. Дегенмен, ағымдылық, ерігіштік және гигроскопиялық сублимациялық кептірілген үлгілерде аздап өзгерген, ал шашыратқыш кептірілген өнімдер физикалық қасиеттерді жақсы сақтаған [12**]**.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу нысандары ретінде Қазақстан Республикасының Ақмола облысы аумағындағы жергілікті шаруашылықтардан алынған жаңа сауылған түйе және бие сүті қолданылды. Сүт сауылғаннан кейін дереу стерильді ыдыстарға құйылып, салқындатылған күйде зертханаға жеткізілді. Алынған үлгілер алдын ала механикалық қоспалардан тазарту мақсатында сүзгіден өткізілді. Құрамының біркелкілігін қамтамасыз ету үшін жұмсақ режимде гомогенизация жүргізілді (температурасы шамамен 20-25 ^{0}С, қысымы 10-15 МПа, ұзақтығы 3-5 минут). Одан кейін сүт үлгілері төмен температурада мұздатуға ұшыратылды (30 ^{0}С шамасында, 2-4 сағат аралығында). Мұздатылған материал әрі қарай вакуум жағдайында сублимациялық кептіру әдісімен өңделді. Кептіру процесі FK-04 лиофильді кептіргіш типті қондырғыда жүзеге асырылды.

Кептіру алдында үлгілер арнайы табақшаларға жұқа қабат түрінде орналастырылды (қалыңдығы шамамен 3-4 мм). Қондырғының кон-

денсатор бөлігі 60 ^{0}С салқындатылып, жұмыс камерасында 5-15 Па деңгейінде төмен қысым орнатылды. Жалпы технологиялық циклдің ұзақтығы шамамен 24 сағатты құрады.

Сублимациялық кептіру бірнеше кезеңнен тұрды. Алдымен негізгі кептіру сатысында мұз күйіндегі су тікелей буға айналып, өнімнен бөлініп шықты. Бұл кезең әдетте 14-18 сағатқа созылды. Кейінгі екіншілік кептіру барысында өнім құрамындағы байланысқан ылғал қалдықтары жойылып, процесс тағы 6-8 сағатқа жалғасты. Соңында жүйеге біртіндеп ауа жіберіліп, аппарат қалыпты жағдайға келтірілді. Аталған технология барысында қыздыру элементтері қолданылмады, яғни кептіру табиғи сублимация режимінде өтті. Процесс аяқталғаннан кейін алынған өнім кеуекті құрылымымен ерекшеленіп, оңай ұнтақталатын күйге жетті. Дайын құрғақ өнімдер ылғал мен жарық әсерінен қорғау мақсатында герметикалық қаптамаларға салынып, шамамен 4 °С температурада сақталды. Зерттеу барысында алынған сублимациялық кептірілген түйе және бие сүті үлгілеріне олардың витаминдік және минералдық құрамын анықтау мақсатында зертханалық талдаулар жүргізілді.

Қосымша зерттеу компоненті ретінде жаңғақ қабығынан биологиялық белсенді заттарды алу қарастырылды. Ол үшін шикізат алдымен ұсақ дисперсті күйге дейін (шамамен 300 нм) механикалық өңдеуден өткізілді. Экстракция үрдісі Сокслет экстракциясы әдісімен, этил спиртінің жоғары концентрациясын (90 %) пайдалану арқылы жүзеге асырылды. Экстракция ұзақтығы 6-8 сағатты құрады, ал шикізат пен еріткіштің арақатынасы шамамен 1:10 деңгейінде сақталды.

Алынған сұйық экстракт сүзгіден өткізіліп, кейін вакуумды буландыру арқылы қоюландырылды. Дайын концентрат қолдануға дейін төмен температурада сақталды. Оны сублимациялық кептірілген сүт өнімдеріне 1–3 % мөлшерде енгізіп, біркелкі таралуы үшін қосымша араластыру жүргізілді.

Құрғақ түйе және бие сүті үлгілеріндегі **ақуыздың массалық үлесі** – МЕМСТ 25179-2014 бойынша**, майдың массалық үлесі** – МЕМСТ 5867-2023 бойынша, **көмірсулардың массалық үлесі** – перманганатометриялық әдіс бойынша, ал **ылғал мен құрғақ заттардың массалық үлесі** – МЕМСТ Р 54668-2011 талаптарына сәйкес анықталды. Витаминдік құрам бойынша **А дәрумені** – МЕМСТ Р 54635-2011, **В1 дәрумені** – МЕМСТ 31483-2012, **С дәрумені** – МЕМСТ 30627.2-98, ал **Е дәрумені** – МЕМСТ Р 54634-2011 әдістеріне сәйкес зерттелді. Минералдық құрам бойынша **Zn, Na, Mg, Ca және K** – МЕМСТ 34837-2022, ал Р – МЕМСТ 31980-2012 талаптарына сай анықталды.

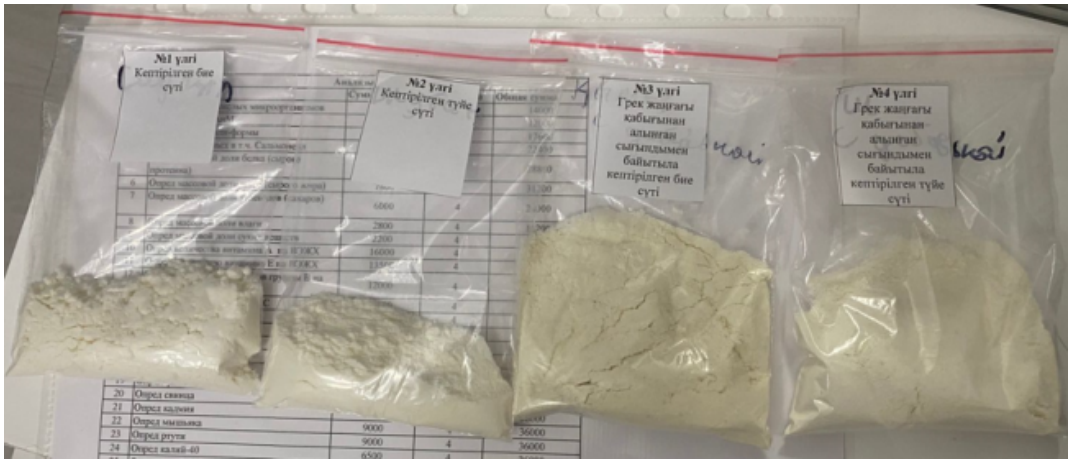
Барлық эксперименттер кем дегенде үш рет қайталанды. Алынған нәтижелер математикалық статистика әдістерімен өңделді. Көрсеткіштердің мәндері орташа арифметикалық мән және стандартты ауытқу түрінде ұсынылды. Деректерді статистикалық өңдеу Microsoft Excel бағдарламалық жасақтамасының көмегімен жүргізілді.

Нәтижелер мен талқылау. Функционалдық тағам өнімдері мен биологиялық белсенді қоспаларды әзірлеу барысында бастапқы шикізат пен дайын өнімнің физика-химиялық көрсеткіштерін зерттеу маңызды орын алады. Бұл көрсеткіштер өнімнің тағамдық құндылығын, технологиялық тұрақтылығын, сақтау мерзімін және тұтынушылық қасиеттерін айқындайтын негізгі сипаттамалар болып табылады.

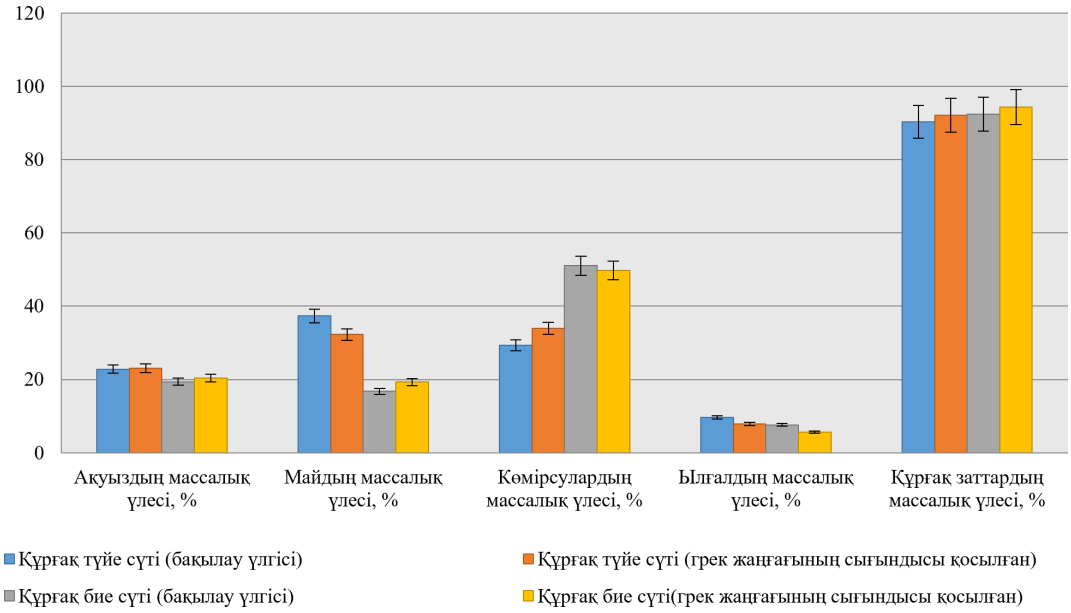
Сублимациялық кептіру технологиясын қолдану бие және түйе сүтінің табиғи құрамын, соның ішінде ақуыздар, майлар, көмірсулар мен минералдық заттарды барынша сақтауға мүмкіндік береді. Дегенмен, өсімдік текті биологиялық белсенді компоненттермен байыту өнімнің компоненттік құрамына белгілі бір өзгерістер енгізуі мүмкін, сондықтан физика-химиялық көрсеткіштердің өзгеру сипатын бағалау қажеттілігі туындайды (1-сурет).

Физика-химиялық көрсеткіштерді талдау сублимациялық кептірудің тиімділігін, грек жаңғағы қабығы сығындысын енгізудің өнім сапасына әсерін және әзірленіп отырған өнімдердің функционалдық бағыттағы тағамдық және технологиялық жарамдылығын ғылыми тұрғыда бағалауға мүмкіндік береді.

Құрғақ түйе және бие сүтінің физико-химиялық құрамын жан-жақты зерттеу барысында олардың ақуыз, май, көмірсу, ылғал және құрғақ заттардың массалық үлестері арқылы өнімнің сапалық көрсеткіштерін объективті бағалауға мүмкіндік береді. Бақылау және тәжірибелік үлгілерді салыстыра отырып, грек жаңғағы сығындысының қосылуы сүт құрамындағы негізгі компоненттердің динамикасына әсерін анықтау мақсат етілді. Алынған мәліметтер өнімнің қоректік құндылығы, құрылымдық қасиеттері және сақтау тұрақтылығын ғылыми тұрғыдан бағалауға негіз болып, сүт өнімдерін функционалды бағытта жетілдіруге жол ашады (сур.2).



1-сурет. Кептірілген құрғақ түйе және бие сүті



2-сурет. Құрғақ түйе және бие сүтінің физика-химиялық көрсеткіштері

Ақуыздың массалық үлесі түйе сүтінің бақылау үлгісінде 22,85% құрады, ал грек жаңғағының сығындысы қосылған үлгіде бұл көрсеткіш 23,05%-ға дейін артқан. Бие сүтінің бақылау үлгісінде ақуыз мөлшері 19,36% болса, байытылған үлгіде ол 20,43%-ға дейін жоғарыла-

ды. Алынған нәтижелер өсімдік текті сығынды енгізудің өнімнің ақуыздық құрамын аздап арттыратынын көрсетеді. Майдың массалық үлесі түйе сүтінің бақылау үлгісінде 37,36% деңгейінде анықталды. Өсімдік сығындысы қосылған түйе сүтінде май мөлшері 32,27%-ға дейін төмендеді, бұл сығынды енгізу нәтижесінде жалпы құрғақ заттар құрамының қайта бөлінуімен және салыстырмалы сұйылу әсерімен байланысты. Ал бие сүтінде керісінше, байытылған үлгіде майдың массалық үлесі 16,78%-дан 19,29%-ға дейін артқан. Көмірсулардың массалық үлесі түйе сүтінің бақылау үлгісінде 29,38% құраса, ал сығынды қосылған үлгіде бұл көрсеткіш 33,97%-ға дейін артты. Бие сүтінде көмірсулардың мөлшері бақылау үлгісінде 51,04% болса, байытылған үлгіде 49,75%-ға дейін азайды. Бұл өзгерістер сығынды енгізу кезінде өнімнің жалпы компоненттік құрамының қайта теңгерілуімен түсіндіріледі. Ылғалдың массалық үлесі барлық үлгілерде салыстырмалы түрде төмен деңгейде болғанын байқауға болады. Түйе сүтінің бақылау үлгісінде ылғал мөлшері 9,68% құраса, сығынды қосылған үлгіде ол 7,89%-ға дейін төмендеген. Бие сүтінде бұл көрсеткіш шамамен 7,59% және 5,65% болды. Ылғалдылықтың төмендеуі сығындының құрғақ заттарға бай болуымен және сублимациялық кептіру процесінің тиімділігімен байланысты.

Құрғақ заттардың массалық үлесі бақылау үлгілерімен салыстырғанда байытылған үлгілерде жоғары болды. Түйе сүтінде құрғақ заттардың үлесі 90,32%-дан 92,11%-ға дейін артқанын байқасақ, бие сүтінде 92,41%-дан 94,35%-ға дейін өсті. Бұл көрсеткіштер сублимациялық кептірудің дұрыс таңдалған технологиялық режимдерін және өнімнің сақтау тұрақтылығының жоғары деңгейде екенін көрсетеді.

1-кесте. Құрғақ түйе және бие сүтінің витаминдік көрсеткіштері

Көрсеткіштердің атауы, өлшем бірліктері	Құрғақ түйе сүті (бақылау үлгісі)	Құрғақ түйе сүті (грек жаңғағының сығындысы қосылған)	Құрғақ бие сүті (бақылау үлгісі)	Құрғақ бие сүті(грек жаңғағының сығындысы қосылған)
А, мг/кг	13,02	28,68	Табылған жоқ	Табылған жоқ
В1, мг/100г	0,544±0,109	0,571±0,114	0,227±0,055	0,264±0,053
В2, мг/100г	0,136±0,057	0,143±0,029	0,342±0,144	0,352±0,148
В3, мг/100 г	1,36±0,27	1,43±0,29	5,28+1,06	5,54±1,11
В5, мг/100г	0,106±0,021	0,116±0,023	2,201±0,440	2,310±0,462
В6, мг/100г	0,068±0,014	0,071±0,014	0,247±0,049	0,264±0,053
Вс, мг/100г	Табылған жоқ	Табылған жоқ	0,007±0,0010	0,009±0,002
С, мг/100г	44,98±15,74	52,36±18,33	82,72±28,95	86,86±30,40
Е, мг/кг	Табылған жоқ	13,95	Табылған жоқ	11,31

Жалпы алғанда, алынған физика-химиялық көрсеткіштер грек жаңғағы қабығы сығындысын 5% мөлшерде енгізу сублимацияланған бие және түйе сүтінің сапалық құрамына оң әсер ететінін көрсетті. Байытылған үлгілер жоғары құрғақ заттар мөлшерімен, төмен ылғалдылықпен және теңдестірілген компоненттік құрамымен ерекшеленіп, функционалдық бағыттағы

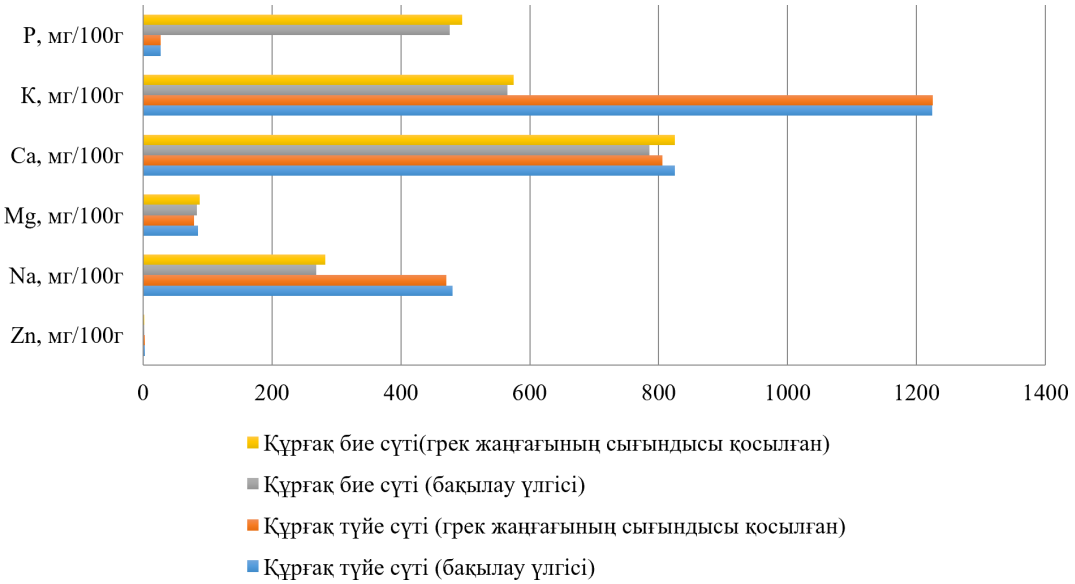
тағам өнімдерін әзірлеу үшін болашағы зор екенін дәлелдеді.

Құрғақ түйе және бие сүтінің витаминдік құрамын зерттеу барысында олардың биологиялық құндылығы мен функционалды қасиеттерін жан-жақты бағалауға, сондай-ақ адам ағзасына қоректік әсерін нақты анықтауға мүмкіндік береді. Бақылау және тәжірибелік үлгілерді салыстыру арқылы грек жаңғағы сығындысының қосылуының витаминдік құрамға, оның ішінде В тобының суда ерігіш және А, С, Е дәрумендерінің майда ерігіш түрлеріне әсері талданды (кесте 1).

А витаминінің (ретинол) мөлшері құрғақ түйе сүтінің бақылау үлгісінде 13,02 мг/кг деңгейінде анықталса, грек жаңғағы қабығының сығындысы қосылған түйе сүтінде бұл көрсеткіш 28,68 мг/кг-ға дейін көтерілді. Ал бие сүтінің бақылау және байытылған үлгілерінде А витамині анықталған жоқ. Бұл айырмашылық түйе сүтінің бастапқы табиғи құрамындағы майда еритін витаминдерге бай болуымен сипатталады.

В тобының витаминдері барлық үлгілерде анықталды, олардың концентрациясы сүт түріне байланысты өзгергені байқалады. Ең жоғары мәндер бие сүтінде байқалды: В3 витамині 5,28–5,54 мг/100 г, В5 және В6 витаминдері де салыстырмалы түрде қарағанда жоғары болды. Ал ең төмен көрсеткіштер түйе сүтінде тіркелген: В1 0,544–0,571 мг/100 г, В5 0,106–0,116 мг/100 г, В6 0,068–0,071 мг/100 г. Фолий қышқылы тек бие сүтінде аз мөлшерде анықталды. С витаминінің мөлшері барлық үлгілерде салыстырмалы түрде жоғары болғаны анықталды, бие сүтінде 82,72–86,86 мг/100 г, ал түйе сүтінде 44,98–52,36 мг/100 г болды.

Е витамині (токоферол) түйе сүтінің бақылау үлгісінде анықталған жоқ, алайда сығынды қосылған үлгіде 13,95 мг/кг деңгейінде тіркелді. Сәйкесінше бие сүтінде де бақылау үлгіде Е витамині анықталмаса, байытылған үлгіде оның мөлшері 11,31 мг/кг болды. Бұл грек жаңғағы қабығы сығындысының токоферолдарға бай екенін және оның өнімнің витаминдік құндылығын арттырғанын дәлелдейді.



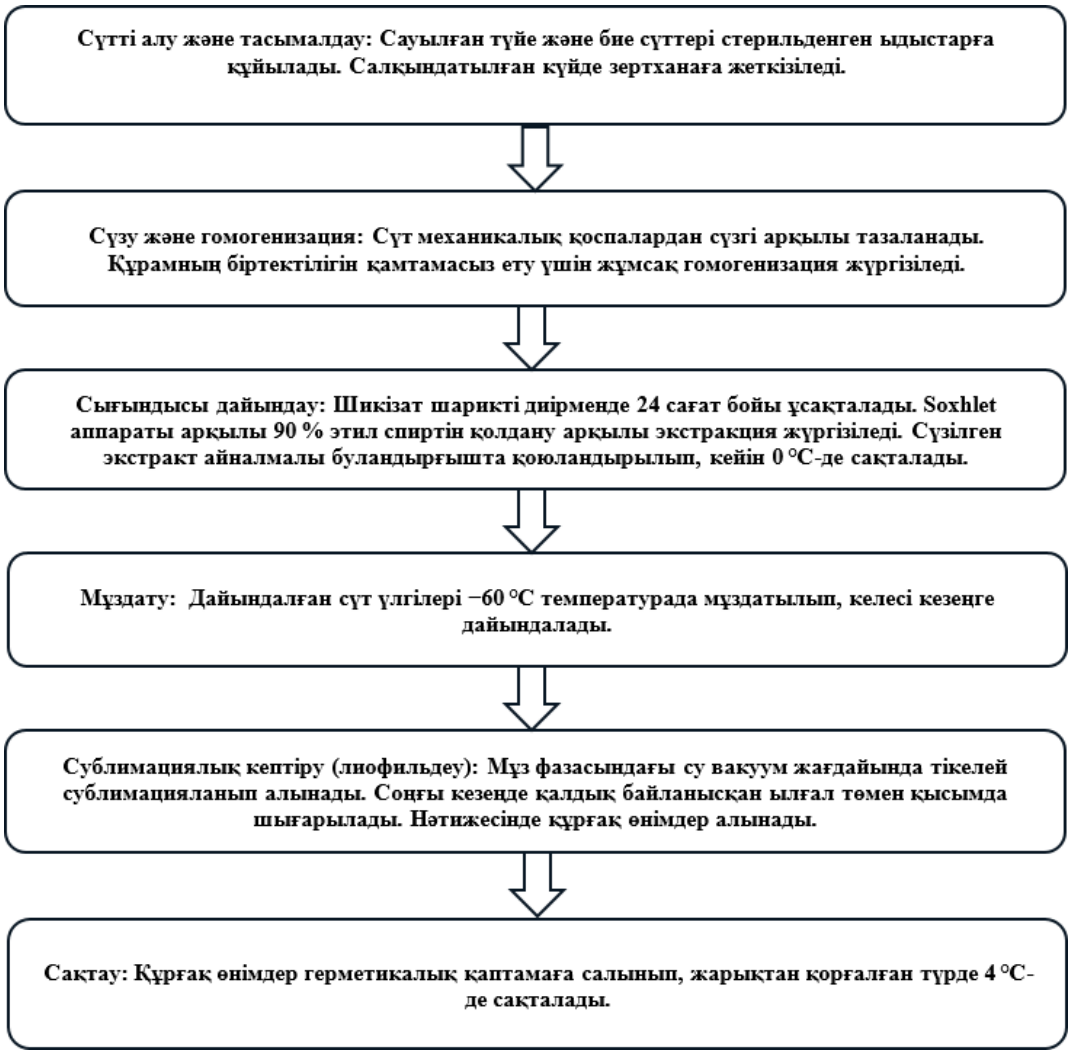
3-сурет. Құрғақ бие және түйе сүтіндегі минералды элементтер құрамы

Алынған нәтижелер грек жаңғағы қабығы сығындысын 5% мөлшерде енгізу арқылы сублимацияланған түйе және бие сүтінің витаминдік құрамын байытып, әсіресе Е витаминінің пайда болуына және В тобы витаминдерінің бірқатарының артуына ықпал ететінін көрсетті. Бұл байытылған өнімдердің функционалдық бағыттағы тағамдық және биологиялық құндылығы

жоғары екенін дәлелдейді.

Сонымен қоса, құрғақ түйе және бие сүтінің минералды элементтердің құрамын талдау жүргізу барысында олардың биологиялық құндылығы мен функционалды қасиеттерін бағалауға мүмкіндік береді. Бақылау және тәжірибелік үлгілерді салыстыру арқылы грек жаңғағы сығындысының қосылуы негізгі минералдардың — мыс (Zn), натрий (Na), магний (Mg), кальций (Ca), калий (K) және фосфор (P) — құрамына тигізетін ықпалы анықталған (сур.3).

Талдау көрсеткендей, түйе сүтінде мырыш (Zn), натрий (Na), магний (Mg), кальций (Ca) және калий (K) жоғары концентрацияда кездесе, бие сүтінде фосфор (P) мөлшері айтарлықтай басым болды, бұл оның сүйек тіні үшін маңызды қоректік рөлін көрсетеді. Грек жаңғағы қабығының сығындысын 5% мөлшерде енгізу мырыш, кальций және калийдің мөлшерін аздап арттырып, минералдық теңгерімділікті жақсартып, бұл өнімдердің тағамдық құндылығын арттыруға мүмкіндік берді.



4 - сурет. Өсімдік сығындысымен байытылған түйе және бие сүті негізінде құрғақ өнімдер жасау технологиясы

Минералдық көрсеткіштерінің осы ерекшеліктері сүт матрицасының табиғи айырмашылықтарымен, сонымен бірге өсімдік сығындысының биологиялық белсенді заттармен өзара әрекеттесуіне байланысты болып келеді. Байытылған үлгілерде кейбір минералдардың мөлшері бақы-

лау үлгілеріне қарағанда тұрақты түрде жоғары болып, бұл функционалдық өнімдердің қоректік қасиеттерін нығайтады. Сонымен қоса, минералдық көрсеткіштердің жоғары деңгейі өнімнің технологиялық тұрақтылығын және ұзақ мерзімді сақтау қабілетін қамтамасыз етуге көмектеседі.

Осылайша, алынған нәтижелер өсімдік сығындысымен байытылған құрғақ түйе және бие сүтінің функционалды тағамдық өнімдер ретінде перспективалы екенін дәлелдейді, олардың құрамындағы витаминдік және минералдық заттардың оңтайлы теңдестігі адам ағзасына қоректік және биологиялық пайдалы әсерін қамтамасыз етеді.

Өсімдік сығындысымен байытылған түйе және бие сүті негізінде құрғақ өнімдер жасау технологиясын әзірлеу – функционалды және биологиялық белсенді тағамдарды өндірудің өзекті бағыттарының бірегейі. Жаңғақ қабығы сияқты өсімдік сығындыларын қосу өнімдердің витаминдік, минералдық және антиоксиданттық құрамын арттырып, олардың тағамдық құндылығын және функционалдық қасиеттерін жоғарылатады (4-сурет).

Сауылған түйе және бие сүттері стерильденген таза ыдыстарға құйылып, салқындатылған күйде зертханаға жеткізілді. Зертханалық өңдеу барысында сүт механикалық қоспалардан тазаланып, біртекті болу үшін сүзгіден өткізіліп, жұмсақ гомогенизациядан өтті. Дайындалған үлгілер −60°C температурада мұздатылып, вакуум жағдайында сублимациялық кептіру арқылы құрғақ өнімге айналдырылды; негізгі кезеңде мұз фазасындағы су тікелей сублимацияланып, соңғы кезеңде қалдық ылғал алынды. Алынған құрғақ өнімдер герметикалық қаптамаға салынып, жарықтан қорғалған түрде сақталды. Сонымен қатар, жаңғақ қабығының сығындысы қосылған өнімдерге витаминдік, минералдық және антиоксиданттық көрсеткіштер бойынша зертханалық талдаулар жүргізілді.

Қорытынды. Өсімдік сығындысымен байытылған түйе және бие сүті негізінде құрғақ өнімдер өндіру технологиясы сәтті әзірленіп, зертханалық тәжірибелер арқылы оның тиімділігі дәлелденген. Сүт үлгілері механикалық тазалау, сүзу және жұмсақ гомогенизациядан өтіп, −60°C температурада мұздатылды, содан кейін вакуумдық сублимациялық кептіру арқылы құрғақ күйге келтірілді. Өсімдік сығындысы қосылған өнімдерде витаминдер, минералдар және антиоксиданттық белсенділік айтарлықтай артты, бұл олардың функционалдық қасиеттерін және тағамдық құндылығын жоғарылатты.

Сублимациялық кептіру әдісі өнімдердің физико-химиялық тұрақтылығын қамтамасыз етіп қана қоймай, құрамындағы биологиялық белсенді заттардың жоғары мөлшерде сақталуына мүмкіндік берді. Экстракт қосу құрғақ өнімдердің витаминдік және минералдық балансын жақсартып, олардың сапасын тұрақтандырды. Осы технология тағам, қайта өңдеу және функционалды өнімдер өндірісінде тиімді қолдануға, сондай-ақ биологиялық құндылығы жоғары, ұзақ сақталатын өнімдер шығаруға мүмкіндік береді.

Қаржыландыру. Жұмыс Қазақстан Республикасының Ғылым және жоғары білім министрлігі, AP26195833 ”Грек жаңғағы қабығынан алынған сығындымен байытылған түйе мен бие сүтіне негізделген биологиялық белсенді қоспаларды алу технологиясын әзірлеу” ҒЗЖ қаржыландыратын жоба шеңберінде орындалды.

Авторлар «Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ғылыми-зерттеу институты» ЖШС (Астана, Қазақстан) қызметкерлеріне тәжірибелік зерттеулерді жүргізуге және алынған нәтижелерді талқылауға көмектескені үшін шын жүректен алғыс білдіреді.

Әдебиеттер

1. Cais-Sokolińska D., Teichert J., Gawałek J. Foaming and other functional properties of freeze-dried mare’s milk //Foods. -2023. -Vol.12 (11):2274. DOI10.3390/foods12112274.

2. Smolentsev S. Y., et al. Influence of the drying regime on the quality indicators of dry mare's milk //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. -2021. -Vol.937: 022099. DOI 10.1088/1755-1315/937/2/022099.

3. Gawałek J., Cais-Sokolińska D., Teichert J. Mare's and Cow's milk fortified with flaxseed oil through freeze-drying microencapsulation: physicochemical and nutritional properties //Foods. -2025. -Vol.14 (2):280. DOI 10.3390/foods14020280.

4. Barreto Í. M. L. G., et al. Chemical composition and lipid profile of mare colostrum and milk of the quarter horse breed //PLoS One. -2020. -Vol.15 (9): e0238921. DOI 10.1371/journal.pone.0238921.

5. Sari Y., et al. Optimizing dextrin levels for enhanced physicochemical properties and microstructure of sumbawa mare's milk powder //Advances in Animal and Veterinary Science. -2025. -Vol.13(2). -P.431-439. DOI 10.17582/journal.aavs/2025/13.2.431.439.

6. Guo L., et al. Production technology, nutritional, and microbiological investigation of traditionally fermented mare milk (Chigee) from Xilin Gol in China //Food science & nutrition. -2020. -Vol.8 (1). -P. 257-264. DOI 10.1002/fsn3.1298.

7. Abarshi M.M., et al. Fermented horse milk exhibits antioxidant activity in vitro //FUW Trends in Science & Technology Journal. -2021. -Vol.6 (2). -P.397-403.

8. Ho T.M., et al. Changes in physicochemical properties of spray-dried camel milk powder over accelerated storage //Food chemistry. -2019. -Vol.295. -P.224-233. DOI 10.1016/j.foodchem.2019.05.122.

9. Deshwal G.K., et al. Effect of spray and freeze drying on physico-chemical, functional, moisture sorption and morphological characteristics of camel milk powder //Lwt. -2020. –Vol.134:110117. DOI 10.1016/j.lwt.2020.110117.

10. Sulieman A.M.E., et al. Comparison of physicochemical properties of spray-dried camel's milk and cow's milk powder //International Journal of Food Science and Nutrition Engineering. -2014. -Vol.4 (1). -P. 15-19. DOI 10.5923/j.food.20140401.03.

11. Habtegebriel H., et al. Effect of operating parameters on the surface and physico-chemical properties of spray-dried camel milk powders //Food and Bioproducts Processing. -2018. –Vol.112. -P.137-149. DOI 10.1016/j.fbp.2018.09.010.

12. Tastemirova U., et al. The comparison of the spray-drying and freeze-drying techniques for camel milk: A review //Research for Rural Development. -2020. -Vol.35. -P.102-105. DOI 10.22616/rrd.26.2020.015.

Авторлар туралы мәлімет

Жельдыбаева А.А. - химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ҒЗИ» ЖШС, Астана, Қазақстан, e-mail: runia_@mail.ru;

Акжанов Н. - PhD докторант, «Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ғылыми-зерттеу институты» ЖШС аға ғылыми қызметкері, Астана, Қазақстан, e-mail: nurtore0308@gmail.com;

Султанова М.Ж. - PhD докторант, «Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ғылыми-зерттеу институты» ЖШС жоба жетекшісі, Астана, Қазақстан, e-mail: sultanova.2012@mail.ru;

Сәдуақас Ә.С. - ғылыми қызметкер, «Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ҒЗИ» ЖШС, Астана, Қазақстан, e-mail: aykon96@mail.ru;

Якияева М.А. - PhD, қауымдастырылған профессор, «Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ҒЗИ» ЖШС, Астана, Қазақстан, e-mail: yamadina88@mail.ru;

Изтаев Б.А. - техника ғылымдарының кандидаты, «Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ҒЗИ» ЖШС, Астана, Қазақстан, e-mail: baurgoldman@mail.ru.

Information about the authors

Zheldybayeva A. A.-Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: runia_@mail.ru;

Akzhanov N. - Doctoral student, Senior researcher of Kazakh Research Institute of processing and food industries LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: nurtore0308@gmail.com;

Sultanova M.Zh. – Doctoral student, Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: sultanova.2012@mail.ru;

Saduakas A.S. – Researcher, Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: aykon96@mail.ru;

Yakiyaeva M.A. – Ph.D., Associate Professor, Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: yamadina88@mail.ru;

Iztaev B. A. - Candidate of technical sciences, Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: baurgoldman@mail.ru

ҒТАМР 65.01.85 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1474**

ҰЛТТЫҚ СҮТ ӨНІМДЕРІНІҢ САПАСЫН БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ ҚАУІПСІЗДІГІН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ҮШІН ЦИФРЛЫҚ ПЛАТФОРМАНЫ ӘЗІРЛЕУ

М.К. Алимарданова, Б.А. Алиев, К.О. Тогжанова✉, Н.Б. Жұмахан, Д.А. Тлевлесова, А.И. Матибаева

Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан

✉ *Corresponding author: togzhanova_kuljan@mail.ru*

Мақалада дәстүрлі Қазақстандық сүт өнімдерінің – айран мен сары ірімшіктің басқарылуын, қауіпсіздігі мен сапасын арттыру үшін цифрлық технологияларды енгізу жөніндегі зерттеулердің нәтижелері ұсынылған. Жұмыс негізгі технологиялық процестерді математикалық модельдеу және барабар цифрлық құралдарды таңдау кезеңдерін қамтитын «Ұлттық өнімді өндірудің инновациялық технологиялары: ет және сүт өнімдерін интенсификациялау және цифрландыру» № BR24993234 жобасы аясында жүргізілді. Егжей-тегжейлі технологиялық схемалар мен эксперименттік деректерді талдау негізінде бақылау жүйесіне қойылатын талаптар қалыптастырылды. Прототип ретінде өнім партиялары, технологиялық параметрлер және зертханалық өлшемдер бойынша деректерді жинауды, сақтауды және визуализациялауды қамтамасыз ететін Streamlit негізіндегі Milk Digitalization цифрлық платформасы әзірленді. Мақалада IoT сенсорикасын, өнеркәсіптік шлюздерді, деректерді талдау технологияларын (машиналық оқыту) және адам-машиналық өзара әрекеттесу жүйелерін қамтитын заманауи цифрлық шешімдер кешені ұсынылған және негізделген. Барлық компоненттерді бір жүйеге біріктіретін мақсатты архитектура ұсынылған. Ашыту және жетілу процестерінің цифрлық егіздерін қолдану режимдерді оңтайландыруға, ақаулық қаупін азайтуға және «шикізаттан тұтынушыға» толық бақылауды қамтамасыз етуге мүмкіндік беретіні көрсетілген. Нәтижелер ұлттық азық-түлік өндірісін стандарттау және цифрландыру тәсілінің тиімділігін растайды.

Түйін сөздер: цифрландыру, азық-түлік қауіпсіздігі, айран, сары ірімшік, IoT, машиналық оқыту, болжамды аналитика, сүт өнімдері, қадағалау.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НАЦИОНАЛЬНОЙ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

М.К. Алимарданова, Б.А. Алиев, К.О. Тогжанова✉, Н.Б. Жұмахан, Д.А. Тлевлесова, А.И. Матибаева

Алматинский технологический университет,Алматы, Казахстан,
e-mail: togzhanova_kuljan@mail.ru

В статье представлены результаты исследований по внедрению цифровых технологий для повышения управляемости, безопасности и качества традиционных казахских молочных продуктов – «айран» и «сары ірімшік». Работа выполнена в рамках проекта № BR24993234 «Инновационные технологии произвлдства национальных продуктов: интенсификация и цифровизация мясных и молочных изделий», включающего этапы математического моделирования основных технологических процессов и выбора адекватных цифровых инструментов. На основе детальных технологических схем и анализа экспериментальных данных сформированы требования к системе контроля. В качестве прототипа была разработана цифровая платформа Milk Digitalization на основе Streamlit, которая обеспечивает сбор, хранение и визуализацию данных по партиям продукции, технологическим параметрам и лабораторным измерениям. В статье представлен и обоснован комплекс современных цифровых решений, включающий в себя сенсорику IoT, промышленные шлюзы, технологии анализа данных (машинное обучение) и системы взаимодействия человек-машина. Представлена целевая архитектура, объединяющая все компоненты в единую систему. Было показано, что использование цифровых двойников процессов ферментации и созревания позволяет

оптимизировать режимы, снизить риск сбоев и обеспечить полный контроль «от сырья к потребителю». Результаты подтверждают эффективность подхода к интенсификации и цифровизации производства национальных продуктов питания.

Ключевые слова: цифровизация, безопасность пищевых продуктов, айран, сары иримшик, IoT, машинное обучение, прогнозная аналитика, молочные продукты, прослеживаемость.

THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES FOR QUALITY CONTROL AND SAFETY NATIONAL DAIRY PRODUCTS

M.K. Alimardanova, B. A. Aliyev, K.O. Togzhanova✉, N.B. Zhumakhan, D.A. Tlevlessova, A.I. Matibayeva

Almaty Technological University,Almaty, Kazakhstan,
e-mail: togzhanova_kuljan@mail.ru

The article presents the results of research on the introduction of digital technologies to improve the manageability, safety and quality of traditional Kazakh dairy products – «ayran» and «sary irinshik». The work was carried out as part of a project №BR24993234 «Innovative technologies for the production of national products: intensification and digitalization of meat and dairy products**»,** that includes the stages of mathematical modeling of the main technological processes and the selection of adequate digital tools. Based on detailed technological schemes and analysis of experimental data, the requirements for the control system are formed. As a prototype, the digital Milk Digitalization platform based on Streamlit was developed, which provides the collection, storage and visualization of data on product batches, technological parameters and laboratory measurements. The article presents and substantiates a set of modern digital solutions, including IoT sensors, industrial gateways, data analysis technologies (machine learning) and human-machine interaction systems. A target architecture is presented that combines all components into a single system. It has been shown that the use of digital counterparts of fermentation and maturation processes makes it possible to optimize modes, reduce the risk of failures and ensure full control «from raw materials to the consumer**».** The results confirm the effectiveness of the approach to intensification and digitalization of national food production.

Keywords: digitalization, food safety, ayran, yellow irimshik, IoT, machine learning, predictive analytics, dairy products, tracking.

Кіріспе. Қазіргі заманғы агроөнеркәсіптік кешен өндірістің тиімділігін, басқарылуын және қауіпсіздігін арттыруға бағытталған терең цифрлық трансформация кезеңін бастан кешуде. Бұл эмпирикалық тәсілдер жиі басым болатын және сапаны бақылау таңдамалы зертханалық талдауларға негізделген дәстүрлі ұлттық өнімдер сегменті үшін ерекше өзектілікке ие болады. Айран (сүт қышқылды сусыны) және сары ірімшік (жоғары температурада өңделген құрғақ өнім) сияқты Қазақстандық сүт өнімдерінің тағамдық және мәдени құндылығы жоғары өнімдер. Алайда, оларды жаппай өндіру және халықаралық нарықтарға шығару үшін стандартталған, бақыланатын технологияларды енгізу және кепілдендірілген қауіпсіздікті қамтамасыз ету қажет.

Бұл жұмыстың мақсаты-бұрын әзірленген математикалық және регрессиялық модельдер негізінде айран мен сары ірімшік өндірісінің қауіпсіздігін қамтамасыз ету және түпкілікті бақылау үшін цифрлық технологиялар кешенін таңдау және негіздеу болды.

Зерттеу міндеттеріне мыналар кірді:

1) технологиялық схемаларды талдау және сыни бақылау нүктелерін бөлу;

2) цифрлық жүйеге қойылатын талаптарды қалыптастыру;

3) деректерді біріктіру үшін платформаның прототипін әзірлеу;

4) нақты цифрлық шешімдерді таңдау (сенсорлар, хаттамалар, аналитикалық модулдер);

5) мақсатты жүйенің архитектурасын жобалау.

Әдебиеттерді және қолданыстағы шешімдерді талдау. Көптеген жұмыстар тамақ өндірісін цифрландыру мәселесіне арналған. Негізгі тенденцияларға нақты уақыттағы параметрлерді бақылау үшін IoT (заттар интернеті) пайдалану кіреді [1], модельдеу және оңтайландыру үшін цифрлық егіздерді құру [2] және қолдану блокчейн бақылауды қамтамасыз ету үшін [3]. Сүт өнеркәсібі *pH* және *redox*-потенциал датчиктері арқылы ашыту процестерін бақылауды [4], микроорганизмдердің өсу кинетикасын моделдеуді [5] және үлкен деректерге негізделген шикізат сапасын басқаруды кеңінен зерттейді [6].

Дегенмен, әзірлемелердің көпшілігі жаппай өнеркәсіптік өнімдерге (йогурттар, ірімшіктер) бағытталған. Күрделі, көп сатылы және жиі өзгермелі технологиямен сипатталатын айран мен сары ірімшік сияқты дәстүрлі өнімдердің ерекшелігі аз зерттелген күйінде қалып отыр. Бірегей процестерді сипаттайтын математикалық моделдерді (мысалы, сары ірімшікті жоғары температурада өңдеу, қалыпқа келтіру және кептіру) практикалық цифрлық басқару жүйелеріне біріктіру мәселелері жеткілікті пысықталмаған. Бұл зерттеу осы олқылықтың орнын толтыруға арналған.

Материалдар мен әдістер. Цифрлық технологияларға қойылатын талаптарды қалыптастыру үшін бастапқы деректер:

1. Егжей-тегжейлі технологиялық схемалар: айран үшін-гомогенизация (қысым, температура), пастерлеу (*t*, *τ*), ашыту (доза, ашытқы құрамы, *t* ашыту) және пісу режимдерін көрсете отырып, резервуарлық және термостаттық тәсілдер; сары ірімшік үшін-коагуляция, ірімшік массасын дренаждау, тұздау және кептіру процестері.

2. Эксперименттік хаттамалар: әр түрлі сақтау мерзімдерінде шикі сүтке, аралық және дайын өнімдерге арналған физика-химиялық (ылғалдылық, май, ақуыз, *pH*, титрленетін қышқылдық), микробиологиялық және функционалдық (витаминдер, амин қышқылдарының құрамы, антиоксиданттық белсенділік) көрсеткіштер бойынша деректер [7].

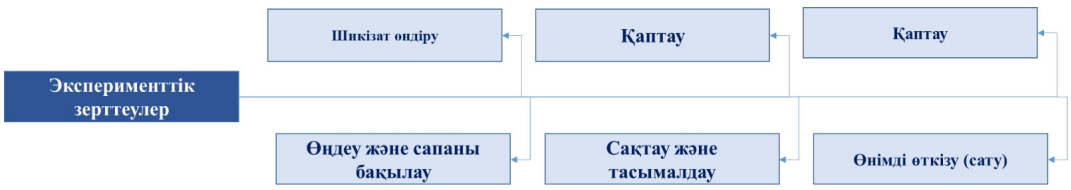
3. Бұрын әзірленген математикалық модельдер: сапаның негізгі көрсеткіштерінің (*Y*) технологиялық параметрлерге (*X1*...*Xn*) регрессиялық тәуелділігі, мысалы, айранның *pH(τ)*, сары ірімшік ылғалдылығының *t* кептіру, сондай-ақ пастерлеу кинетикасының моделдері.

Цифрлық технологияларды таңдау қауіпсіздік талаптарына сәйкестік, интеграциялық қабілет, моделдерді қолдау, масштабтау және пайдалану ыңғайлылығы критерийлері бойынша салыстырмалы талдау негізінде жүзеге асырылды[8].

Сүт саласын цифрландырудың ұсынылған тұжырымдамасын көрсету және әзірленген тәсілдерді сынақтан өткізу мақсатында *Milk Digitalization* цифрлық платформасының прототипі жасалды. Бағдарламалық жасақтама Streamlit шеңберін қолдана отырып, *Python* тіліндегі веб-қосымша түрінде жасалады, бұл кросс-платформаны, интерфейстің интерактивтілігін және аналитикалық модульдерді жылдам біріктіру мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

Әзірленген платформа шикізат өндіруден бастап дайын өнімді сатуға дейінгі өмірлік циклдің барлық кезеңдерінде сүт өнімдерінің сапасын бақылау, талдау және басқару процестерін цифрлық қолдауға бағытталған (сурет 1).

Прототиптің архитектурасы модулдік принципке негізделген, бұл масштабталуға және функционалдылықты одан әрі кеңейтуге мүмкіндік береді [9].



1 - сурет. Өнімнің өмірлік циклі

Әзірленген прототиптің негізгі элементі сүт өнімдерінің сапасы мен технологиялық параметрлері туралы ақпаратты құрылымдық жинақтауды, өңдеуді және кейіннен талдауды қамтамасыз ететін бірыңғай цифрлық деректер қоймасын қалыптастыру болып табылады (сурет 2). Платформа CSV форматындағы өзара байланысты кестелер жиынтығымен ұсынылған деректерді сақтаудың реляциялық моделі:

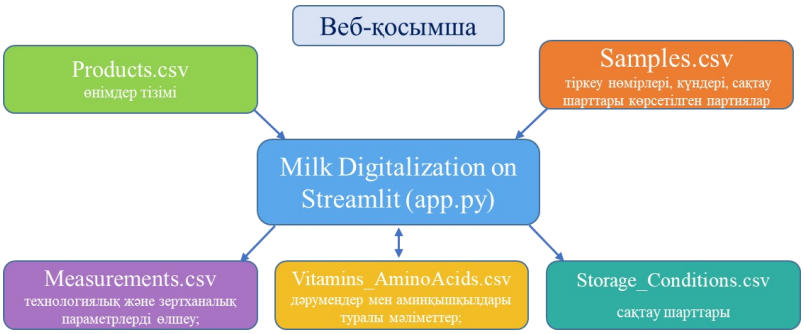
- Products.csv - өнімдер тізімі (сүт,айран, сары ірімшік және т.б.);

- Samples.csv - партиялар мен үлгілер журналы;

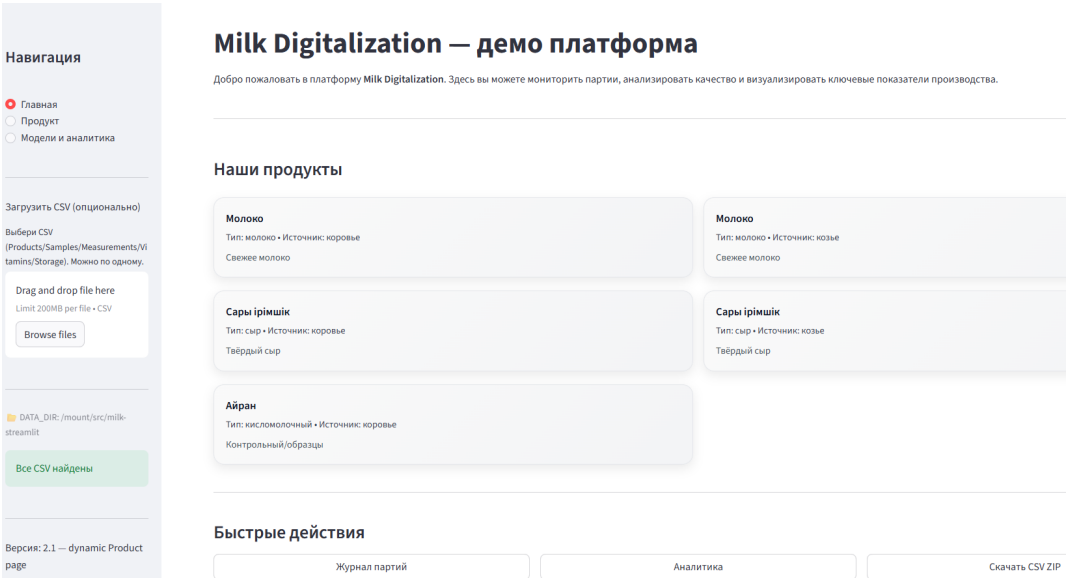
- Measurements.csv - зертханалық өлшеу нәтижелерінің массиві;

- Vitamins_Amino Acids.csv-витаминдер мен аминқышқылдарының құрамын сипаттайтын биохимиялық көрсеткіштер блогы;

- Storage_Conditions.csv-сақтау шарттары туралы.



2 - сурет. CSV форматындағы өзара байланысқан кестелер жиынтығы



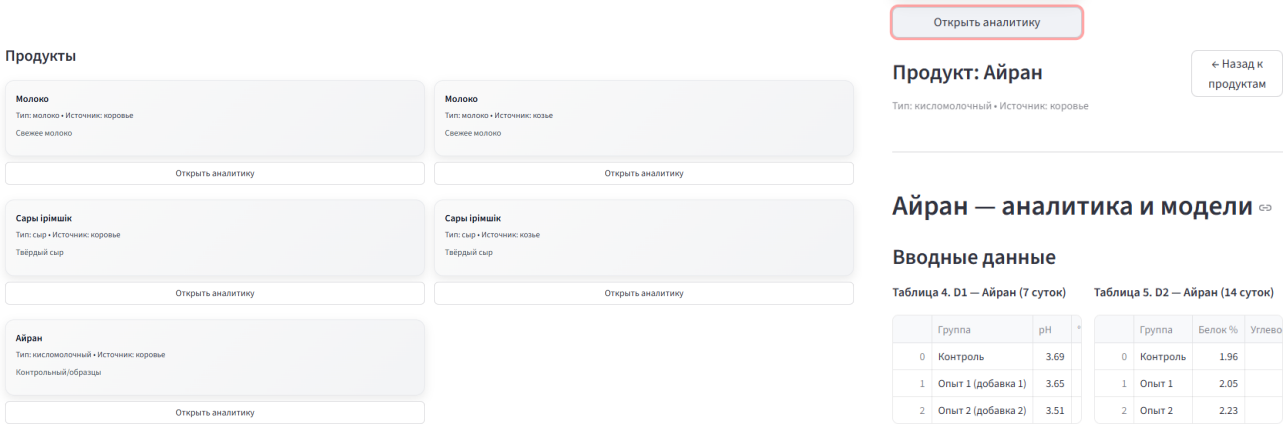
3 - сурет. Milk Digitalization платформасының интерфейсі: пастерлеу параметрлерін енгізу формасы бар айран өндірісінің интерактивті технологиялық схемасы

Үлгілермен жедел жұмыс істеу үшін жүйеде сандық тіркеу журналы болып табылатын партияны басқару интерфейсі жүзеге асырылды. Бұл модуль өнімнің нақты түріне, өндірілген немесе сынама алынған күнге, сондай-ақ нақты сақтау шарттарына байланысты жаңа жазбаларды ен-

гізуге мүмкіндік береді (Сурет 3). Бұл әр партияның үздіксіз цифрлық тарихын қалыптастыруды қамтамасыз етеді, бұл сапаны бақылау, ауытқуларды талдау және тамақ өнімдерінің қауіпсіздігін қамтамасыз ету міндеттері үшін маңызды шарт болып табылады.

Платформаның орталық құрамдас бөліктерінің бірі сүт, айран және сары ірімшік өндірісінің интерактивті технологиялық карталары болып табылады. Технологиялық процесс шикізатты қабылдаудан бастап дайын өнімді алуға дейінгі барлық негізгі кезеңдерді қамтитын қадамдық сұлбалар түрінде ұсынылған. Әр кезең (мысалы, қабылдау, пастерлеу, салқындату, ашыту, ашыту, басу, кептіру және т.б.) интерактивті элемент ретінде жүзеге асырылады. Тиісті кезеңді таңдаған кезде пайдаланушыға нақты технологиялық параметрлерді енгізу немесе бұрын сақталған мәндерді қарау нысаны беріледі. Енгізілген көрсеткіштерге температура режимдері, технологиялық операциялардың ұзақтығы, компоненттердің дозалары және басқа да маңызды параметрлер кіреді. Бұл тәсіл нақты өндірістік деректерді түсіріп қана қоймай, оларды ауытқуларды анықтау үшін нормативтік мәндермен салыстыруға мүмкіндік береді.

Платформаның аналитикалық блогы ұлттық сүт өнімдерінің жекелеген түрлері үшін мамандандырылған көрсеткіштерді өңдеуге бағытталған (сурет 4).



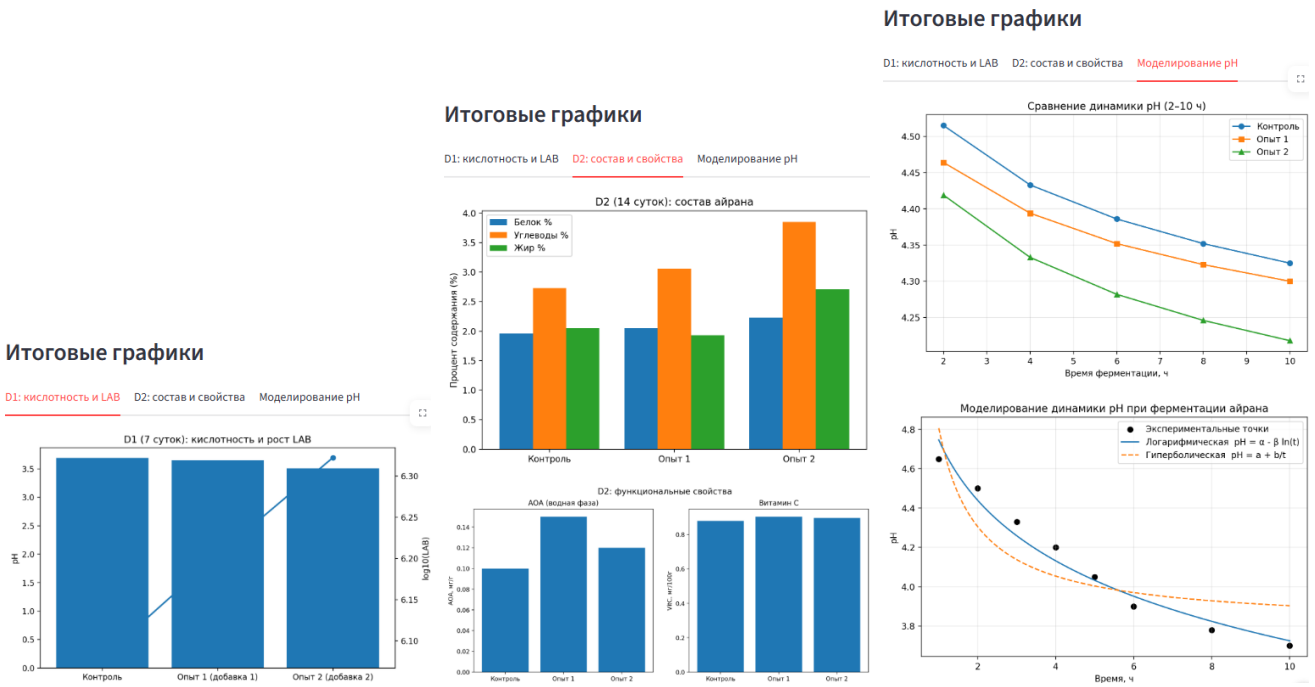
4 - сурет. Платформаның аналитикалық блогы

Айран үшін ашыту және кейінгі сақтау процесінде pH деңгейінің өзгеру динамикасы мен микробиологиялық сипаттамалардың визуализациясы жүзеге асырылды. Деректердің графикалық көрінісі қышқылды сақтау кинетикасын бақылауға және өнімнің тұрақтылығын бағалауға мүмкіндік береді (сурет 5).

Сонымен қатар, регрессиялық модельге негізделген қышқылдықты болжаудың есептік модулі әзірленді, ол технологиялық параметрлерге байланысты өнімнің соңғы сипаттамаларын алдын-ала бағалауға мүмкіндік береді.

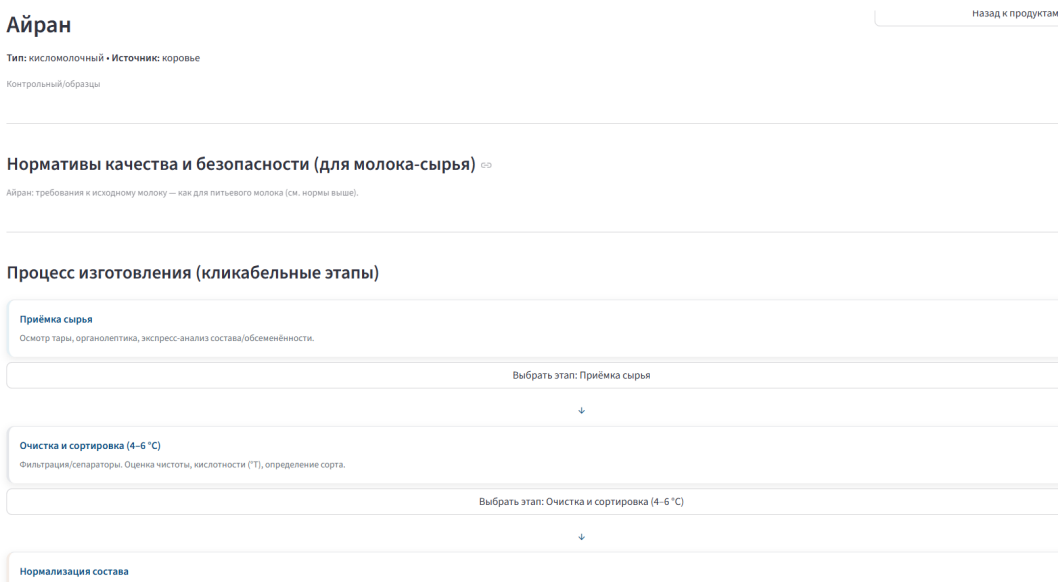
Сара ірімшік үшін кептіру процесін талдау құралдары іске асырылды. Жүйе тағамды сусыздандыру процестерін сипаттау үшін кеңінен қолданылатын Пейдж үлгісіне негізделген ылғалды кетірудің кинетикалық қисықтарын көрсетеді. Сонымен қатар, өнімнің массасы мен ылғалдылығының өзгеруіне мониторинг жүргізіледі, бұл технологиялық режимнің тиімділігін бағалауға және қажетті сапа көрсеткіштеріне қол жеткізуді болжауға мүмкіндік береді.

Платформаның сыртқы ақпараттық жүйелермен интеграциялануын қамтамасыз ету және аудит және сараптама рәсімдерін жеңілдету мақсатында деректерді экспорттау функциясы іске асырылды. Пайдаланушы таңдалған партияның толық сандық тарихын өзара байланысты *CSV* файлдары бар құрылымдық мұрағат ретінде жүктеу мүмкіндігіне ие. Бұл формат кейінгі өңдеудің, аналитикалық жүйелерге деректерді берудің, сондай-ақ оларды ұзақ мерзімді сақтаудың ыңғайлылығын қамтамасыз етеді [10].



а) D1: қышқылдық және зертханалық **ә) құрамы D2: құрамы және қасиеті** **б) PH модельдеу**

5 - сурет. а) Платформаның аналитикалық блогы, ә) құрамы D2: құрамы және қасиеті, б) PH моделдеу



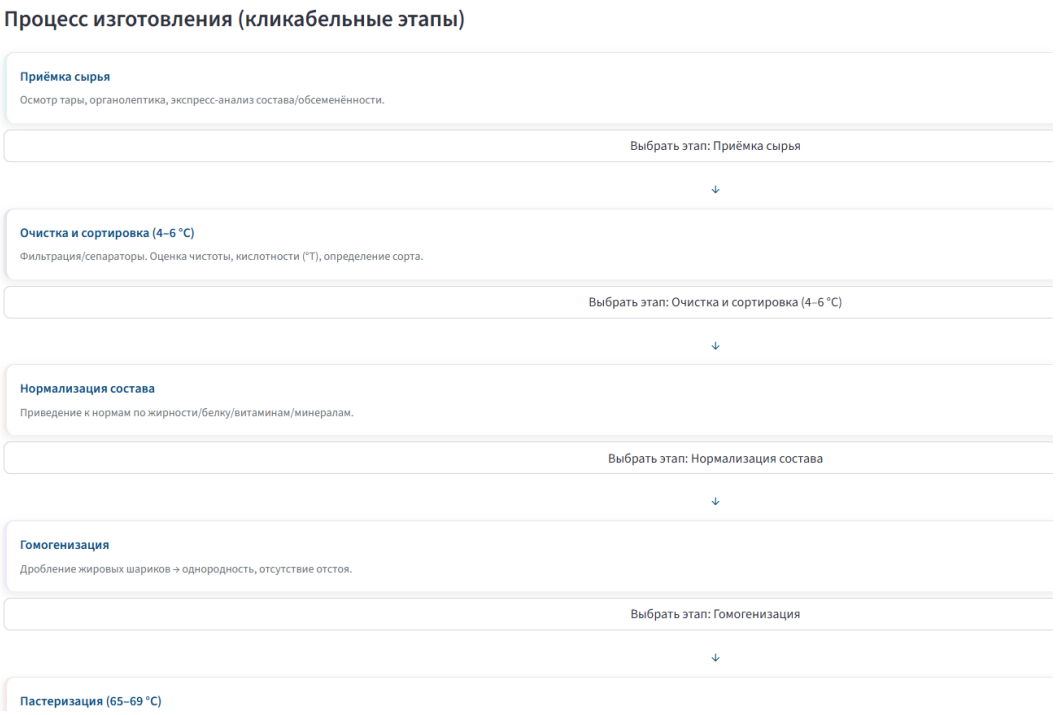
6 - сурет. Milk Digitalization платформасында айранның ашыту кезеңіндегі параметрлерді енгізу экраны

Осылайша, әзірленген цифрлық платформаның прототипі деректерді құрылымдық сақтау, технологиялық процестерді цифрлық сүйемелдеу және сүт өнімдерінің сапа көрсеткіштерін интеллектуалды талдау функцияларын біріктіретін кешенді құрал болып табылады. Іске

асырылған модульдер ұлттық сүт өнімдерін өндіруді толық қадағалау, болжамды талдау және цифрлық басқару қағидаттарына көшу мүмкіндігін көрсетеді [11].

Біріктірілген сапа және қауіпсіздік стандарттары бар мамандандырылған өнім беттері. Басылатын технологиялық кезеңдер (сурет.6), олардың әрқайсысы үшін IoT жүйелерінен қолмен де, (перспективада) автоматты түрде алынған нақты параметрлерді енгізу және визуализациялау нысандары қарастырылған. Жүктелген регрессиялық модельдер негізінде жұмыс істейтін аналитикалық виджеттер: айранның қышқылдығын болжау, сары ірімшіктің кептіру кинетикасын мониторингілеу [12].

Milk Digitalization цифрлық платформасының прототипі негізінде сүт өнімдерінің сапасын бақылау мен басқарудың интеграцияланған жүйесінің мақсатты масштабталатын архитектурасы жасалды (сурет.7).



7 - сурет. Айран мен сары ірімшік өндірісі үшін цифрлық бақылау жүйесінің нысаналы архитектурасының схемасы



8 - сурет. Деректерді жинау деңгейі

Архитектура көп деңгейлі принцип бойынша құрылған және технологиялық жабдық деңгейінен шешімдерді қолдаудың аналитикалық қызметтеріне дейінгі деректердің үздіксіз ағынын қамтамасыз етеді. Бұл тәсіл айран мен сары ірімшік өндірісіндегі өндірістік процестерді алдынала бақылау және сыни параметрлерді болжамды басқару тұжырымдамасын жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

Өріс деңгейі. Өндіріс желісіндегі IoT датчиктері (NIR, pH, T/φ, компьютерлік көру).

Деректерді жинау деңгейі (Edge): PLC және Modbus, MQTT хаттамалары бойынша деректерді біріктіретін шлюздер (сурет 8).

Архитектураның орталық бөлігі ақпаратты сақтау, өңдеу және бағыттау функцияларын орындайтын Milk Digitalization core бірыңғай деректер платформасы болып табылады[13]. Платформа деңгейіне мыналар кіреді:

- жоғары жиілікті технологиялық параметрлерді сақтауға арналған уақыт қатарының дерекқоры (ашыту температурасының қисықтары, кептіру кинетикасы, pH динамикасы);

- өнім анықтамалықтарын, партияларды, рецептураларды, технологиялық карталарды және зертханалық нәтижелерді жүргізуге арналған реляциялық мәліметтер базасы;

- сыни нүктелерді бақылау ережелерін, өндірістік көрсеткіштерді есептеу алгоритмдерін және хабарламаларды қалыптастыру тетіктерін іске асыратын бизнес-логика модулі;

- сыртқы ақпараттық жүйелермен және пайдаланушы қосымшаларымен өзара әрекеттесуге арналған REST API.

Деректер ағындарының бұл бөлінуі жүйенің жоғары өнімділігін және функционалдылықты одан әрі кеңейтудің ыңғайлылығын қамтамасыз етеді.

Интеграция деңгейі және пайдаланушы интерфейстері. Архитектураның жоғарғы деңгейі цифрлық платформаның кәсіпорынның сыртқы жүйелерімен және соңғы пайдаланушылармен өзара әрекеттесуін қамтамасыз етеді.

Оған мыналар кіреді(Сурет 9):



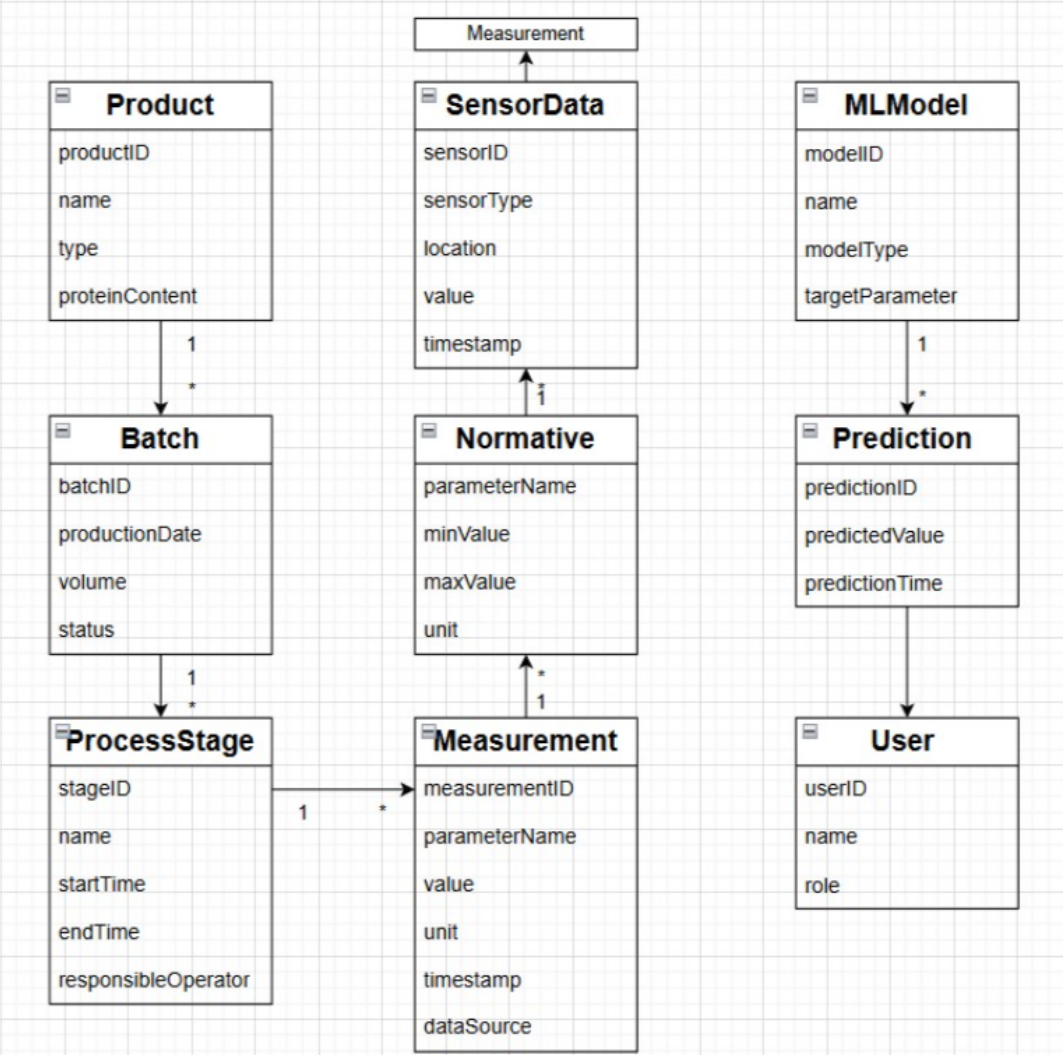
9 - сурет. Интеграция деңгейі және пайдаланушы интерфейстері

Пайдаланушы интерфейстері арқылы зертханалық деректерді енгізу, технологиялық процестердің ағымдағы жағдайын бақылау, партиялардың тарихын қарау және маңызды ауытқулар туралы хабарламалар алу жүзеге асырылады.

Ұсынылған архитектура бастапқы сенсорлық деректерді алу деңгейінен бастап аналитикалық есептерді қалыптастыруға және корпоративтік ақпараттық ортамен интеграциялауға дейінгі өндірістік циклды түпкілікті цифрландыруды қамтамасыз етеді. Құрылыстың модульдік принципі жүйені әртүрлі қуаттағы кәсіпорындарға бейімдеуге және өндірісті тоқтатпай цифрлық технологияларды кезең-кезеңімен енгізуге мүмкіндік береді.

Мұндай архитектураны енгізу технологиялық процестерді зияткерлік басқаруға көшуге, айран мен сары ірімшік сапасының тұрақтылығын арттыруға, өндірістік тәуекелдерді төмендетуге және сүт өнімдерін толық қадағалау қағидаттарын іске асыруға негіз жасайды.

Сонымен қатар, төменде Milk Digitalization платформасына арналған UML-класс диаграммасына айран мен сары ірімшік өндірісіне байланған егжей-тегжейлі ғылыми-техникалық талдау берілген. Мәтін сандық платформада әр класстың мақсатын, байланысын және функционалдық мәнін ашады (Сурет 10).



10 - сурет. UML class Diagram

Класс диаграммасының мақсаты-цифрлық платформаның негізгі нысандарын құрылымдау, олардың бақылануын, сыни параметрлерді басқаруды және аналитикалық модельдердің интеграциясын қамтамасыз ететін қасиеттері мен байланыстарын көрсету.

Нәтижелер мен талқылау. Әзірленген прототип пен архитектуралық шешімдер кешенді цифрландырудың принципті мүмкіндігін көрсетеді. Негізгі артықшылықтары:

-партияның цифрлық паспорты есебінен шешімдердің түпкілікті қадағалануы және негізділігі;

-реактивтіден проактивті және болжамды бақылауға көшу;

-автоматтандыру арқылы адам факторының еңбек сыйымдылығы мен тәуекелдерін азайту.

Негізгі қиындықтар шағын өндірушілерге арналған IoT жабдықтарына алғашқы инвестициялар, кадрларды даярлау қажеттілігі және киберқауіпсіздік мәселелері болып қала береді.

Перспективалық бағыт-жүйені тек модельдеуге ғана емес, сонымен қатар көп өлшемді міндеттерге (сапа, қауіпсіздік, энергия тиімділігі) негізделген процестерді дербес оңтайландыруға қабілетті когнитивті цифрлық егізге қарай дамыту.

Қорытынды. Жұмыс барысында Қазақстанның дәстүрлі сүт өнімдерінің қауіпсіздігі мен сапасын бақылау үшін заманауи цифрлық технологияларды (IoT, AI, Digital Twins) қолданудың тиімділігі дәлелденді. Әзірленген Milk

Digitalization платформасының прототипі және ұсынылған архитектура іске асыруға дайын негіз болып табылады. Ұсынылған шешімдер кешені қауіпсіздік кепілдіктері мен стандарттауды қамтамасыз етіп қана қоймайды, сонымен қатар Индустрия 4.0 қағидаттарына сәйкес келетін ұлттық өнімдердің интеллектуалды, бейімделгіш өндірісіне көшу үшін негіз жасайды. Мұндай жүйелерді енгізу қазақстандық тамақ өнімдерінің ішкі және сыртқы нарықтардағы бәсекеге қабілеттілігін арттыруға ықпал ететін болады.

Қаржыландыру: *Жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру жөніндегі № BR24993234 «Ұлттық өнімдер өндірісінің инновациялық технологиялары: ет және сүт өнімдерін өндіруді интенсификациялау және цифрландыру» жобасы шеңберінде орындалды.*

Әдебиеттер

1. Nget S., Mith H., Boué G., Curet S., Boillereaux L. The Development of a Digital Twin to Improve the Quality and Safety Issues of Cambodian Pâté (915 MHz Microwave Cooking) // Foods. - 2023. -Vol.12(6): 1187.DOI 10.3390/foods12061187.

2. Sionek B., Cais-Sokolińska D., Walkowiak-Tomczak D., Pikul J. Traditional and New Microorganisms Used for Fermentation of Dairy Products // Fermentation. -2023. -Vol.9(12):1019. DOI 10.3390/fermentation9121019.

3. Ibrahim S. A., Ayivi R. D., Zimmerman T., Siddiqui S. A., Altemimi A. B., Fidan H., Esatbeyoglu T., Bakhshayesh R. V. Lactic Acid Bacteria as Antimicrobial Agents: Food Safety and Microbial Food Spoilage Prevention //Foods. -2021.-Vol.10(12):3131. DOI 10.3390/foods10123131.

4. Алимарданова М.К., Кененбай Ш.Ы., Каимбаева Л.А., Кадим И.Т., Набиева Ж.К. Исследование свойств горбового жира верблюдов породы Бактриан//Вестник Алматинского технологического университета. -2025. -Vol.149(3). - С.80-89. DOI 10.48184/2304-568X-2025-3-80-89.

5. Gużewska G., Monedeiro-Milanowski M., Florkiewicz A. B., Arendowska I., Walczak-Skierska J., Białczak D., Pomastowski P. P. Analysis of the Fatty Acid Profile in Cream, Buttermilk Fractions, and Anhydrous Milk Fat: Influence of Physicochemical and Microbiological Parameters on the Fatty Acid Profile // Applied Sciences. -2024.-Vol.14(14):6117. DOI 10.3390/app14146117.

6. Алимарданова М.К., Бакиева В.М. Обеспечение безопасности при производстве кисломолочных продуктов с энтеросорбирующими пищевыми волокнами. Вестник Алматинского технологического университета. -2024.-Vol.143(1). - С.81-86. DOI 10.48184/2304-568X-2024-1-81-86.

7. Dakhia Z., Roudier C., Hassan M., Frossard N. AI-Enabled IoT for Food Computing: Challenges and Opportunities // Sensors. -2025.- Vol. 25:2147. DOI 10.3390/s25042147.

8. Chacón-Flores N. A., Olivas-Orozco G. I., Acosta-Muñiz C. H., Gutiérrez-Méndez N., Sepúlveda-Ahumada D. R. Effect of Water Activity, pH, and Lactic Acid Bacteria to Inhibit *Escherichia coli* during Chihuahua Cheese Manufacture // Foods. - 2023.-Vol.12(20):3751. DOI 10.3390/foods12203751.

9. Sielatycka K., Kiełczewska K., Molska M., Góral D. Dynamics of Active Fluorescent Units (AFU) and Water Activity (a_w) Changes in Probiotic Products-Pilot Study // Foods. -2023.- Vol.12(21):4018. DOI 10.3390/foods12214018.

10. Zhang J., Huang H., Song G., Huang K., Luo Y., Liu Q., He X. and Cheng N., Intelligent biosensing strategies for rapid detection in food safety: a review // Biosensors and Bioelectronics. - 2022. -Vol.202: 114003. DOI 10.1016/j.bios.2022.114003.

11. Liberty J. T., Bromage S., Peter E., Ihedioha O. C., & Alsalman F. B. Smart technology

for public health: reshaping the future of food safety. Food Control. -2025. - ol.176:111378. DOI 10.1016/j.foodcont.2025.111378.

12. Alimardanova M., Akpanov Z., Prosekov A. Improving the quality and the technology of processed cheeses // Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. -2023.-Vol.17.-P.788-800. DOI 10.5219/1911.

13. М.К. Алимарданова , Н.Б. Жұмахан , М.С. Серікқызы , Ш.А. Абжанова. Ұлттық ет өнімдерін өндіруге арналған сандық құрылғылар мен датчиктерді салыстырмалы талдау және таңдау//ҚазУТБ Хабаршысы.-2025. - № 3(28)-Б.80-91.DOI 10.58805/kazutb.v.3.28-1111.

References

1. Nget S., Mith H., Boué G., Curet S., Boillereaux L. The Development of a Digital Twin to Improve the Quality and Safety Issues of Cambodian Pâté (915 MHz Microwave Cooking) // Foods. - 2023. -Vol.12(6): 1187.DOI 10.3390/foods12061187.

2. Sionek B., Cais-Sokolińska D., Walkowiak-Tomczak D., Pikul J. Traditional and New Microorganisms Used for Fermentation of Dairy Products // Fermentation. -2023. -Vol.9(12):1019. DOI 10.3390/fermentation9121019.

3. Ibrahim S. A., Ayivi R. D., Zimmerman T., Siddiqui S. A., Altemimi A. B., Fidan H., Esatbeyoglu T., Bakhshayesh R. V. Lactic Acid Bacteria as Antimicrobial Agents: Food Safety and Microbial Food Spoilage Prevention //Foods. -2021.-Vol.10(12):3131. DOI 10.3390/foods10123131.

4. Alimardanova M.K., Kenenbaj Sh.Y., Kaimbaeva L.A., Kadim I.T., Nabieva Zh.K. Issledovanie svojstv gorbovogo zhira verbljudov porody Baktrian//Vestnik Almatinskogo tehnologicheskogo universiteta. - 2025. -Vol.149(3). - C.80-89. DOI 10.48184/2304-568X-2025-3-80-89. [in Russian]

5. Gużewska G., Monedeiro-Milanowski M., Florkiewicz A. B., Arendowska I., Walczak-Skierska J., Białczak D., Pomastowski P. P. Analysis of the Fatty Acid Profile in Cream, Buttermilk Fractions, and Anhydrous Milk Fat: Influence of Physicochemical and Microbiological Parameters on the Fatty Acid Profile // Applied Sciences. -2024.-Vol.14(14):6117. DOI 10.3390/app14146117.

6. Alimardanova M.K., Bakieva V.M. Obespechenie bezopasnosti pri proizvodstve kislomolochnyh produktov s jenterosorbirujushhimi pishhevymi voloknami. Vestnik Almatinskogo tehnologicheskogo universiteta. -2024.-Vol.143(1). - S.81-86. DOI 10.48184/2304-568X-2024-1-81-86. [in Russian]

7. Dakhia Z., Roudier C., Hassan M., Frossard N. AI-Enabled IoT for Food Computing: Challenges and Opportunities // Sensors. -2025.- Vol. 25:2147. DOI 10.3390/s25042147.

8. Chacón-Flores N. A., Olivas-Orozco G. I., Acosta-Muñiz C. H., Gutiérrez-Méndez N., Sepúlveda-Ahumada D. R. Effect of Water Activity, pH, and Lactic Acid Bacteria to Inhibit *Escherichia coli* during Chihuahua Cheese Manufacture // Foods. - 2023.-Vol.12(20):3751. DOI 10.3390/foods12203751.

9. Sielatycka K., Kiełczewska K., Molska M., Góral D. Dynamics of Active Fluorescent Units (AFU) and Water Activity (a_w) Changes in Probiotic Products-Pilot Study // Foods. -2023.- Vol.12(21):4018. DOI 10.3390/foods12214018.

10. Zhang J., Huang H., Song G., Huang K., Luo Y., Liu Q., He X. and Cheng N., Intelligent biosensing strategies for rapid detection in food safety: a review // Biosensors and Bioelectronics. - 2022. -Vol.202: 114003. DOI 10.1016/j.bios.2022.114003.

11. Liberty J. T., Bromage S., Peter E., Ihedioha O. C., & Alsalman F. B. Smart technology for public health: reshaping the future of food safety. Food Control. -2025. - ol.176:111378. DOI 10.1016/j.foodcont.2025.111378.

12. Alimardanova M., Akpanov Z., Prosekov A. Improving the quality and the technology of processed cheeses // Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. -2023.-Vol.17.-P.788-800. DOI 10.5219/1911.

M.K. Alimardanova, N.B. Zhұmahan , M.S. Serikқyzy , Sh.A. Abzhanova. Ұlttyқ et өnimderin өndiruge arnalғan sandyқ qұrylғylar men datchikterdi salystyrmaly taldau zhәne taңdau//ҚazUTB Habarshysy. - 2025. - № 3(28) -B.80-91. DOI 10.58805/kazutb.v.3.28-1111. [in Kazakh]

Авторлар туралы мәлімет

Алимарданова М.К.-техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР Ауыл шаруашылығы ғылымдары академиясының академигі, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: m.alimardanova@atu.edu.kz;

Алиев Б.А.-физика-математика ғылымдарының докторы, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: aliyevb72@mail.ru;

Тогжанова К.О.- PhD, қауымдастырылған профессор, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: togzhanova_kuljan@mail.ru;

Жұмахан Н.Б.- техника ғылымдарының магистрі, сеньор-лектор, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: nurzhan_14_95@mail.ru;

Матибаева А.И.-техника ғылымдарының кандидаты, қауым. профессор, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: matibaevaainur@gmail.com;

Тлевлесова Д.А. - PhD, қауым. профессор, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: Tlevlessova@gmail.com.

Information about authors

Alimardanova M. K.-doctor of technical sciences, professor, academician of the Academy of Agricultural Sciences of the Republic of Kazakhstan, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: m.alimardanova@atu.edu.kz;

Aliyev B. A.-doctor of physical and Mathematical Sciences, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: aliyevb72@mail.ru;

Togzhanova K.O.-PhD, Associate Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: togzhanova_kuljan@mail.ru;

Zhumahan N.B.-master of technical sciences, senior lecturer, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: nurzhan_14_95@mail.ru;

Matibaeva A.I. - candidate of technical sciences, associate professor. professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: matibaevaainur@gmail.com;

Tlevlessova D.A. - PhD, associate professor. professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: Tlevlessova@gmail.com

IRSTI 65.29.29 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1607**

NUTRITIONAL VALUE, MICROBIOLOGICAL SAFETY, AND STORAGE STABILITY OF EXTRUDED BREAKFAST CEREALS BASED ON PLANT POWDERS

[1]M.Zh. Sultanova, [1]N. Akzhanov, [1]A.S. Saduakas, [1]A.S. Kamali, [2]K.O. Dodaev

[1]Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry, Astana, Kazakhstan,
[2]Tashkent Institute of Chemical Technology, Tashkent, Uzbekistan

Corresponding author: nurtore0308@gmail.com

The article presents a study on the quality and food safety of extruded breakfast cereals developed on the basis of cereal grains with the addition of plant powders.

The relevance of the study is associated with the increasing consumer demand for functional and safe food products. Although extruded breakfast cereals are widely consumed, their content of vitamins and biologically active compounds is often insufficient. Therefore, improving the nutritional value of such products through the use of natural plant raw materials is of scientific and practical interest. In addition, the influence of plant powders on the microbiological stability, physical properties, and vitamin composition of extruded products during storage has not been sufficiently studied, which justifies the need for a comprehensive assessment of their quality characteristics.

A mixture of cereals (rice, corn, and barley) was used as the main raw material, while carrot, beetroot, and pumpkin powders were applied as functional ingredients. The purpose of the study was to comprehensively evaluate the effects of plant powders and storage conditions on the vitamin composition, microbiological safety, and physical properties of extruded food products.

The content of B vitamins and vitamin C was determined by high-performance liquid chromatography, as well as by titrimetric and fluorimetric methods in accordance with the requirements of GOST 31483-2012. The microbiological safety of the product was assessed by the number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms, E. coli bacteria, yeast and mold fungi, as well as the presence of pathogenic microorganisms. The physical properties of the extruded products were characterized by the parameters of bulk density, brittleness, and color in the CIELab system.

It contributed to an increase in the vitamin value of the extruded breakfast cereal due to the introduction of vegetable powders. The content of B vitamins and vitamin C in the test samples was higher than in the control sample. The high growth was manifested in vitamin C. During 3 months, a slight decrease in the vitamin content was observed during storage, and it was higher in the samples of herbal powder additives.

During the analysis of microbiological examinations, the microbiological safety indicators on the samples corresponded to sanitary and hygienic requirements. During the 3 months of storage, there was a slight increase in the number of microorganisms, yeast and mold fungi, the values did not exceed the permissible standards.

The analysis of physical parameters showed that the bulk density of the samples was observed in the range of 0.45-0.49 g/cm3, fragility -in the range of 29.6-33.1 H. During storage, the physical characteristics changed, which did not affect the quality of the products.

The use of vegetable powders has increased the nutritional value of the extruded breakfast cereal. The developed products were characterized by stable physical properties and met food safety requirements, confirming safe storage for at least 3 months.

Keywords: extruded breakfast cereals, cereals, vegetable powders, recipe, vitamin composition, microbiological safety, physical properties, food storage.

ӨСІМДІК ҰНТАҚТАРЫ НЕГІЗІНДЕГІ ЭКСТРУДИРЛЕНГЕН ҚҰРҒАҚ ТАҢҒЫ АСТЫҢ

ТАҒАМДЫҚ ҚҰНДЫЛЫҒЫ, МИКРОБИОЛОГИЯЛЫҚ ҚАУІПСІЗДІГІ ЖӘНЕ САҚТАУ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ

[1]М.Ж. Султанова, [1]Н. Акжанов, [1]Ә.С. Сәдуақас, [1]А.С. Камали, [2]К.О. Додаев
[1]Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ҒЗИ» ЖШС, Астана, Қазақстан,
[2]Ташкент химия-технология институты, Ташкент, Өзбекстан,
e-mail: nurtore0308@gmail.com

Мақалада өсімдік ұнтақтары қосылған дәнді дақылдар негізінде жасалған экструдирленген құрғақ таңғы астың сапасы мен тағамдық қауіпсіздігіне зерттеу жүргізілді.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі қазіргі таңда халықтың функционалдық және қауіпсіз тағам өнімдеріне деген сұранысының артуымен байланысты. Экструдирленген құрғақ таңғы астар кеңінен тұтынылғанымен, олардың құрамындағы дәрумендер мен биологиялық белсенді заттардың мөлшері жеткіліксіз болып келеді. Осыған байланысты өнімнің тағамдық құндылығын табиғи өсімдік шикізаты есебінен арттыру ғылыми және практикалық тұрғыдан маңызды болып табылады. Сонымен қатар, өсімдік ұнтақтарын экструдирленген өнімдерге енгізудің сақтау кезіндегі микробиологиялық тұрақтылыққа, физикалық қасиеттерге және витаминдік құрамға әсері толық зерттелмеген. Бұл экструдирленген өнімдердің сапалық көрсеткіштерін кешенді бағалау қажеттілігін негіздейді.

Негізгі шикізат ретінде жарма қоспалары (күріш, жүгері және арпа), ал функционалды компоненттер ретінде сәбіз, қызылша және асқабақ ұнтақтары қолданылды. Зерттеу мақсаты өсімдік ұнтақтарының қоспалары мен сақтау жағдайларының экструдирленген тағам өнімдерінің витаминдік құрамына, микробиологиялық қауіпсіздігіне және физикалық қасиеттеріне әсерін кешенді түрде анықтау және бағалау болып табылады.

В тобына жататын дәрумендер мен С тобындағы дәрумендер құрамын анықтау жоғары тиімді сұйықтықты хроматография әдісімен, сонымен бірге МЕМСТ 31483-2012 белгіленген талаптарына сай титриметриялық және флуориметриялық әдістер көмегімен жүргізілген. Өнімнің микробиологиялық қауіпсіздігі мезофильді аэробты және факультативті-анаэробты микроорганизмдерге (МАФАнМ) байланысты, яғни E. coli бактериялары, ашытқылар мен зеңдер, сондай-ақ қоздырғыштар бойынша бағаланады. Экструдирленген өнімдердің физикалық қасиеттері CIELab жүйесіндегі сусымалы тығыздық, сынғыштық және түс параметрлерімен сипатталды.

Зерттеу нәтижелеріне қарасақ, өсімдік ұнтақтарын енгізу арқылы экструдирленген құрғақ таңғы астың дәрумендік құндылығын көбейтуге жәрдем еткенін көрсетті. Сынақ үлгілеріндегі В тобындағы дәрумендер мен С витаминінің мөлшері бақылау үлгісімен салыстыра қарағанда жоғары болғанын байқаймыз. Ең айқын өсімді С дәруменінде көре аламыз.3 ай бойы сақтау процесі барасында дәрумендердің шамалы төмендеуі байқалды, бірақ олардың деңгейі өсімдік ұнтақтарының қоспалары бар үлгілерде жоғары болып қалғанын көрдік.

Микробиологиялық зерттеулер сараптамалары бойынша талдау жүргізу кезінде барлық үлгілерде микробиологиялық қауіпсіздік көрсеткіштері санитарлық-гигиеналық талаптарға сай келетінін көрсетті. Сақтаудың 3 айында микроорганизмдер мен ашытқылар мен зең саңырауқұлақтарының жалпы санының шамалы өсуі байқалды, алайда олардың мәндері рұқсат етілген нормалардан аспады.

Физикалық көрсеткіштерді талдау үлгілердің үйінді тығыздығы 0,45-0,49 г/см^3 шектікте болғанын, ал сынғыштығы 29,6-33,1 Н аралығында өзгергені байқалды. Сақтау процесінде өнімнің сапасына біршама әсер етпейтін физикалық сипаттамалардың өзгергенін аңғаруға болады.

Нәтижелер өсімдік ұнтақтарын пайдалану экструдирленген құрғақ таңғы астың тағамдық құндылығын одан сайын арттыруға мүмкіндік беретінін көрсетеді. Әзірленген өнімдер тұрақты физикалық қасиеттерімен сипатталады, сонымен қоса тағам қауіпсіздігі талаптарына сай келеді, бұл

оларды ең кем дегенде санасақ 3 ай бойы қауіпсіз сақтау мүмкіндігін растайды.

Түйін сөздер: экструдирленген құрғақ таңғы ас, жарма, өсімдік ұнтақтары, рецептура, витаминдік құрамы, микробиологиялық қауіпсіздігі, физикалық қасиеттері, өнімді сақтау.

ПИЩЕВАЯ ЦЕННОСТЬ, МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И СТАБИЛЬНОСТЬ ПРИ ХРАНЕНИИ ЭКСТРУДИРОВАННЫХ СУХИХ ЗАВТРАКОВ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОРОШКОВ

[1]М.Ж. Султанова, [1]Н. Акжанов, [1]Ә.С. Сәдуақас, [1]А.С. Камали, [2]К.О. Додаев

[1]Казахский научно - исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности, Астана, Казахстан,
[2]Ташкентский химико-технологический институт Ташкент, Узбекистан,
e-mail: nurtore0308@gmail.com

В статье проведено исследование качества и пищевой безопасности экструдированных сухих завтраков, разработанных на основе зерновых культур с добавлением растительных порошков.

Актуальность темы исследования связана с возрастающим спросом населения на функциональные и безопасные пищевые продукты. Несмотря на широкое распространение экструдированных сухих завтраков, содержание витаминов и биологически активных веществ в них зачастую остается недостаточным. В связи с этим повышение пищевой ценности продукции за счет использования натурального растительного сырья представляет научный и практический интерес. Кроме того, влияние растительных порошков на микробиологическую стабильность, физические свойства и витаминный состав экструдированных продуктов в процессе хранения изучено недостаточно, что обосновывает необходимость комплексной оценки качественных показателей таких продуктов.

В качестве основного сырья использовали смесь круп (рисовой, кукурузной и ячменной), а в качестве функциональных компонентов — порошки моркови, свеклы и тыквы. Целью исследования является комплексная оценка влияния растительных порошков и условий хранения на витаминный состав, микробиологическую безопасность и физические свойства экструдированных пищевых продуктов.

Определение содержания витаминов группы В и витаминов группы С проводилось с помощью высокоэффективного метода жидкостной хроматографии, титриметрического и флуориметрического методов в соответствии с требованиями ГОСТ 31483-2012. Микробиологическая безопасность продукта зависит от мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (МАФАнМ), Е. бактерии coli, дрожжи и плесень оценивались на уровне патогенов. Физические свойства экструдированных продуктов характеризовались параметрами сыпучей плотности, хрупкости и цвета в системе CIELab.

Способствовал увеличению витаминной ценности экструдированного сухого завтрака за счет введения растительных порошков. Содержание витаминов группы В и витамина С в тестовых образцах было выше, чем в контрольной выборке. Высокий рост проявился в витамине С. В течение 3 месяцев в процессе хранения наблюдалось незначительное снижение содержания витаминов, в образцах добавок растительных порошков было выше.

При проведении анализа экспертиз микробиологических исследований показатели микробиологической безопасности на образцах соответствовали санитарно-гигиеническим требованиям. За 3 месяца хранения наблюдалось незначительное увеличение количества микроорганизмов, дрожжей и грибков плесени, значения не превышали допустимых норм.

Анализ физических показателей показал, что насыпная плотность образцов наблюдалась в пределах 0,45-0,49 г/см3, хрупкость-в пределах 29,6-33,1 Н. В процессе хранения менялись физические характеристики, что несколько не влияло на качество продукции.

Использование растительных порошков повысило питательную ценность экструдированного сухого завтрака. Разработанные продукты характеризовались стабильными физическими свойствами, отвечали требованиям безопасности пищевых продуктов, подтверждая безопасное хранение не менее 3 месяцев.

Ключевые слова: экструдированные сухие завтраки, крупы, растительные порошки, рецептура, витаминный состав, микробиологическая безопасность, физические свойства, хранение продукта.

Introduction. According to the studies conducted by Boukid F. and Rosell C.M., changes in modern lifestyles, increasing awareness of healthy nutrition, and continuous technological advancements have transformed breakfast cereals from simple grain-based products into a diverse and widely consumed food category. Today, these products encompass a broad range of ingredients, processing technologies, and product formats, enabling manufacturers to address the nutritional needs and dietary preferences of various consumer groups. In addition, the nutritional value of breakfast cereals has been enhanced through fortification with dietary fiber, proteins, vitamins, and minerals. However, their potential health benefits largely depend on the specific formulation and the nature of the ingredients incorporated into the product. The authors further emphasize the significant influence of technological innovation, globalization of food markets, and the growing consumer demand for plant-based alternatives and clean-label products on the ongoing development of the breakfast cereal sector [1].

Savkina O.A., Lokachuk M.N., and Pavlovskaya E.N. investigated the microbial contamination of raw materials used in muesli production. Their study assessed microbiological safety indicators in both raw materials and finished muesli samples. The results demonstrated that the total count of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms (TAMC) complied with the requirements established by TR CU 021/2011. At the same time, an increased content of mold fungi was detected, highlighting the importance of microbiological monitoring and quality control of raw materials intended for breakfast cereal production [2].

Dzyuba N.A. and co-authors presented the results of comprehensive studies on the organoleptic, physicochemical, and microbiological characteristics of finely ground corn grits used in breakfast cereal manufacturing. The authors provided detailed information on the chemical composition, nutritional value, and quality characteristics of corn grits. To evaluate organoleptic properties, a profiling method was employed, resulting in the development of color, taste, and aroma profilograms. The findings demonstrated that the use of fine corn flakes in breakfast cereal production contributes to an attractive appearance, a pronounced aroma, a pleasant yellow color, and a balanced taste profile of the final product. Furthermore, corn-based ingredients enhance the nutritional value of breakfast cereals by enriching them with B-group vitamins, vitamin PP (niacin), and essential macro- and microelements required for normal human physiological functions [3].

Śliżewska K. and co-authors investigated the microflora of ready-to-eat breakfast cereals available in retail markets and evaluated the influence of packaging on the microbiological quality of these products. The cereal samples examined in the study included both hermetically packaged products and cereals sold in bulk by weight. Microbiological analyses involved the determination of the total count of mesophilic microorganisms, aerobic bacteria and molds, coagulase-positive bacteria belonging to the Enterobacteriaceae family, including *Escherichia coli*, as well as the detection of *Salmonella* and *Shigella* species. The results revealed that the predominant contaminating microflora of cereal products consisted of bacterial spores and mold fungi belonging mainly to the genera *Aspergillus* and *Penicillium*. No coagulase-positive staphylococci, *Salmonella*, or *Shigella* were detected in the analyzed samples. The highest levels of microbial contamination were observed in bulk-

sold cocoa cereal balls and wheat flakes containing rice. Overall, hermetically packaged breakfast cereals exhibited significantly lower levels of microbial contamination, confirming the important role of appropriate packaging in maintaining the microbiological safety and quality of cereal-based products during storage and distribution [4].

Singh R. and co-authors evaluated the storage stability of a ready-to-eat breakfast cereal developed from pearl millet. The researchers formulated and standardized the product, after which storage studies were conducted for a period of three months under ambient conditions (25 ± 2 °C and relative humidity of 65 ± 10%). The breakfast cereal was packaged in 1.36 mm metallized pouches and monitored throughout the storage period. At 15-day intervals, moisture content, water activity (aw), free fatty acid content (FFA), peroxide value (PV), overall acceptability, and microbiological parameters, including yeast and mold counts, were assessed.

The results demonstrated only minor increases in most quality indicators during storage, while the overall acceptability score remained high at 7.29. No significant deterioration of product quality was observed, indicating that the breakfast cereal remained acceptable for consumption throughout the three-month storage period in metallized packaging. Although gradual increases in moisture content, water activity, free fatty acids, and peroxide value were recorded, no substantial changes in sensory characteristics were detected. Furthermore, none of the measured parameters indicated the onset of spoilage, and no yeasts, molds, or significant microbial growth were detected during storage. These findings confirm the microbiological safety and storage stability of millet-based breakfast cereals under the tested conditions [5].

Although breakfast cereals are generally considered microbiologically safe because of their low moisture content, it should be noted that certain ingredients, including cereal grains, dried fruits, and cocoa products, may serve as potential sources of contamination. Among the most significant hazards are mycotoxins, which are secondary metabolites produced by filamentous fungi. To assess the occurrence of these contaminants, 140 breakfast cereal samples collected from the Istanbul market were analyzed using liquid chromatography coupled with mass spectrometry (LC–MS/MS), providing valuable information on the prevalence of mycotoxins in commercially available breakfast cereal products.

The study revealed that 71% of the analyzed samples contained at least one type of mycotoxin. Aflatoxin B1 was detected in 17% of the samples, while total aflatoxins were identified in 31% of the products, with several samples exceeding the maximum permissible limits established by food safety regulations. The authors emphasized the necessity of continuous monitoring of mycotoxin contamination and highlighted the importance of developing regulatory standards that consider the co-occurrence of multiple mycotoxins in food products, as simultaneous exposure may pose additional risks to consumer health [6].

Mardar M. and co-authors investigated the microbiological characteristics of instant breakfast cereals during storage. Product safety was evaluated immediately after production and throughout storage under different temperature conditions and packaging systems. The study examined the influence of flexible packaging, plastic cups with foil sealing, and metallized biaxially oriented polypropylene film (BOPF) packages on the preservation of consumer and microbiological quality attributes. The results demonstrated that the incorporation of natural fortifying additives contributed to an extension of shelf life and effectively inhibited microbial growth. A reduction in the total microbial count was observed in all samples during storage, with the most pronounced decrease (1.5-fold) recorded in products packaged in metallized BOPF bags. The findings further indicated that breakfast cereals packed in metallized BOPF materials could be safely stored for up to 12 months at room temperature and a relative humidity of 60–75%, while maintaining acceptable microbiological quality and consumer properties throughout the storage period [7].

Sá S.V.M. and co-authors reported that

breakfast cereals play an important role in the daily diet of children by contributing to nutrient intake and supporting healthy eating habits. However, the authors also emphasized that children are particularly vulnerable to food contaminants, especially mycotoxins, because of their lower body weight and higher dietary exposure relative to adults. The study investigated the occurrence and bioaccessibility of aflatoxin B1 (AFB1), enniatin B (ENNB), and sterigmatocystin (STG) in breakfast cereal products. An in vitro gastrointestinal digestion model simulating human digestive conditions was employed to evaluate the bioaccessibility of these mycotoxins when breakfast cereals were consumed alone or in combination with milk. The results demonstrated that the bioaccessibility of the investigated mycotoxins increased as the food matrix passed from the gastric to the intestinal phase of digestion. In addition, the presence of milk significantly influenced the release and availability of these contaminants, indicating that food matrix interactions may affect the potential exposure of consumers to mycotoxins present in breakfast cereals [8].

To improve the nutritional value and sensory quality of breakfast cereal products, Edima A.P. and co-authors developed formulations based on yellow maize, soybean, and ripe banana flour. Composite flour prepared from maize and soybean flour in a ratio of 70:30 was blended with banana flour at different inclusion levels ranging from 5% to 25%. The resulting products were evaluated for their proximate composition, vitamin and mineral content, microbiological quality, and sensory characteristics. The findings indicated that increasing the proportion of banana flour led to a reduction in protein and lipid contents, while dietary fiber and carbohydrate levels increased. A slight decrease in the overall energy value of the products was observed. Furthermore, the concentrations of potassium and magnesium increased, whereas vitamin A content decreased and vitamin C content increased with higher banana flour incorporation. Microbiological analyses confirmed that all samples complied with acceptable safety standards. Sensory evaluation revealed that samples F and A received the highest overall acceptability scores among the tested formulations. The authors concluded that the incorporation of banana flour positively influenced both the nutritional characteristics and sensory attributes of breakfast cereal products, thereby enhancing their consumer appeal and functional value [9].

Okoye J.I., Ebeh O.C., and Eze S.I. investigated breakfast cereal products formulated from blends of maize, soybean, and carrot flours, with particular emphasis on their nutritional composition, functional characteristics, microbiological quality, and sensory properties. The study demonstrated that the incorporation of soybean and carrot flours at levels ranging from 5% to 25% significantly enhanced the nutritional profile of the products. Increases were observed in moisture, protein, lipid, dietary fiber, mineral content (Ca, Mg, P, K, Fe, and Zn), and vitamins, including vitamins A, C, B-complex vitamins, and folic acid.

Microbiological evaluation indicated that the total viable microbial count ranged from 0.42×10^4 to 1.14×10^4 CFU/g. No coliform bacteria or fungal contaminants were detected in the analyzed samples, confirming that all products met acceptable microbiological safety standards. The researchers also reported improvements in several functional properties as the proportion of composite flour increased. These included bulk density, water absorption capacity, solubility, gelation characteristics, swelling capacity, and oil absorption capacity, all of which are important quality attributes influencing processing performance and consumer acceptance.

Sensory evaluation revealed that the sample produced from 100% maize flour achieved the highest overall acceptability score. Nevertheless, formulations containing soybean and carrot flours were also highly rated by the sensory panel and demonstrated satisfactory consumer appeal. Based on the obtained results, the authors concluded that the partial replacement of maize flour with soybean and carrot flours effectively improved the nutritional value and functional performance

of breakfast cereal products while maintaining acceptable sensory quality [10].

Kambarova A. and co-authors developed a multicomponent cereal formulation based on rice, buckwheat, oats, and corn with enhanced nutritional and functional properties. The composition of the blend was optimized through computer modeling to achieve a balanced profile of essential amino acids and an appropriate energy value. The technological process included raw material cleaning, sorting, hydrothermal treatment, processing, drying, cooling, milling, and blending. The developed product demonstrated favorable organoleptic characteristics and a balanced nutritional composition, containing 14.43 g of protein, 59.92 g of carbohydrates, and 4.48 g of fat per 100 g of product, with an energy value of 322.74 kcal/100 g. In addition, the cereal blend was a source of B-group vitamins as well as essential macro- and microelements. Microbiological analyses confirmed compliance with established food safety requirements, and the product maintained acceptable quality for up to 4–5 months of storage. These findings indicate its potential application as a nutritionally complete and health-promoting food product [11].

In another study, Daniels G.A. evaluated the sensory characteristics and storage stability of ready-to-eat breakfast cereals fortified with functional enzyme additives, including tolerance phosphatase (TolP) and tolerance lipase (TolL). The organoleptic properties of fortified and control samples were compared in terms of aroma, taste, and texture. The results demonstrated that the incorporation of these enzymes did not adversely affect the sensory quality of the products ($p > 0.05$). Furthermore, the fortified cereal samples exhibited substantially increased mineral bioavailability, with calcium, zinc, and iron levels increasing by 43.3%, 49.7%, and 56.7%, respectively, compared with the control. These findings confirmed the effectiveness of enzyme fortification in improving the nutritional quality of breakfast cereals. Stability studies further revealed that TolP retained its activity for up to 12 months of storage, whereas TolL remained active for approximately 9 months, indicating good long-term functionality of the incorporated enzymes [12].

Materials and Methods. Cereal grains were used as the primary raw materials for the production of extruded breakfast cereals, including rice, corn, and barley groats. The formulation of the cereal base consisted of 65% rice groats, 10% corn groats, and 10% barley groats. A control sample was prepared without the addition of vegetable powders. The formulation of the control sample was identical to that of the cereal base and included 65% rice groats, 10% corn groats, and 10% barley groats. The control sample was produced under the same technological conditions as the experimental samples. Prior to processing, the raw materials were cleaned, sieved, conditioned, and subjected to extrusion.

The cereal raw materials complied with the requirements of the relevant regulatory standards: rice groats according to GOST 6292-93, corn groats according to GOST 6002-2022, and barley groats according to GOST 26312.1-84.

To enhance the nutritional and biological value of the developed products, pumpkin, carrot, and beetroot powders were incorporated as plant-based ingredients. The vegetable raw materials were thoroughly washed, cleaned, and mechanically reduced in size before drying. Convective drying was carried out at a temperature of 55–60 °C until a residual moisture content of 8–10% was achieved. The dried materials were subsequently milled under laboratory conditions to obtain powders with a particle size of less than 0.5 mm. Prior to use, the powders were stored in airtight opaque containers at room temperature to protect them from moisture and light exposure.

Formulations of Experimental Samples. Several formulations of extruded breakfast cereals were developed based on the cereal mixture, differing in the type and proportion of vegetable powder incorporated into the formulation:

Formulation № 1 - 10% carrot powder;

Formulation № 2 - 10% beetroot powder;

Formulation № 3 - 10% pumpkin powder;

Formulation № 4 - 5% carrot powder and 5%

beetroot powder;

Formulation № 5 - 5% carrot powder and 5% pumpkin powder;

Formulation № 6 - 5% beetroot powder and 5% pumpkin powder.

All ingredients were thoroughly blended until a homogeneous mixture was obtained. Prior to extrusion, the cereal blends were conditioned, and the moisture content of the raw material was adjusted to 18%. The mixtures were then held for 20–30 min to ensure uniform moisture distribution throughout the material.

Extrusion processing was carried out using a laboratory-scale single-screw extruder (Model D-PHJ-I, Shandong Honor Automation Technology Co., Ltd., China). The technical specifications of the extruder were as follows: power consumption – 7.3 kW, operating voltage – 380 V, 50 Hz, production capacity – 40–50 kg/h, screw length – 550 mm, and screw diameter – 40 mm.

The extrusion process was performed at a barrel temperature of approximately 170 °C and a screw rotation speed of 180 rpm. During processing, the material was exposed to elevated temperature, pressure, and mechanical shear forces, resulting in starch transformation and the formation of a porous structure characteristic of expanded breakfast cereal products. The extrudates emerging from the die were cooled to room temperature and subsequently packed in airtight containers. The resulting samples were used for further physicochemical and microbiological analyses.

Storage Conditions of the Samples. To evaluate product stability and establish a safe shelf life, the breakfast cereal samples were stored at a temperature of 23 ± 2 °C and a relative humidity of 60–65%. Microbiological and chemical parameters were determined after 0, 3, and 6 months of storage.

The moisture content was determined by the oven-drying method to constant weight in accordance with GOST 15113.4-77.

The content of vitamins (B-group vitamins and vitamin C) was determined using high-performance liquid chromatography (HPLC), as well as titrimetric and fluorometric methods according to GOST 31483-2012.

Microbiological Analysis. The microbiological safety of the samples was assessed using the following indicators:

Total mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms (TAMC) – according to GOST 10444.15-94;

Coliform bacteria – according to GOST 31747-2012;

Yeasts and molds – according to GOST 10444.12-2013;

Salmonella spp. – according to GOST 31659-2012;

Escherichia coli – according to GOST 30726-2001;

Staphylococcus aureus – according to GOST 10444.2-94.

All microbiological analyses were performed in accordance with the sanitary and hygienic requirements established for food safety assessment.

Determination of Physical Properties. The physical characteristics of the extruded products were evaluated using the following parameters:

Bulk density – according to GOST 15113.6-77;

Texture (fracturability/crispness) – determined using an instrumental texture analysis method with a texture analyzer;

Color characteristics – determined by the colorimetric method.

All experiments were conducted in triplicate. The obtained data were processed using methods of mathematical statistics. Results are presented as mean values and standard deviations. Statistical analysis of the experimental data was performed using Microsoft Excel software.

Results and Discussion. A comprehensive evaluation of the quality and nutritional safety of the developed extruded breakfast cereals was conducted by assessing their vitamin composition, microbiological characteristics, and physical properties. Particular attention was given to the influence of formulation composition and

storage conditions on these quality parameters. The analyses were performed immediately after production and throughout storage at a temperature of 23 ± 2 °C and a relative humidity of 60–65%.

Microbiological investigations were carried out to determine the sanitary and hygienic safety of the extruded products during storage. In addition, physical characteristics, including bulk density, textural properties, and color parameters, were evaluated as indicators of structural changes occurring in the products throughout the storage period.

The obtained results made it possible to assess the effect of vegetable additives on the nutritional value of the breakfast cereals and to evaluate the stability of their quality and safety indicators during storage.

To determine the nutritional value of the developed extruded breakfast cereals, the contents of B-group vitamins and vitamin C were analyzed. Vitamin determination was performed using high-performance liquid chromatography (HPLC), together with titrimetric and fluorometric methods in accordance with GOST 31483-2012. The results of the vitamin analysis are presented in Figure 1.

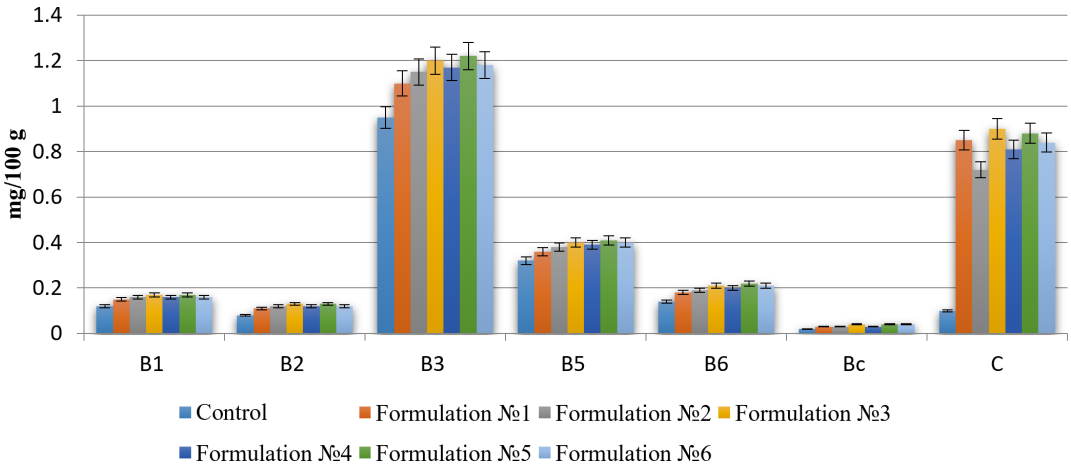


Fig.1 - Changes in vitamin content during 3 months of storage

The incorporation of vegetable powders contributed to an increase in the content of B-group vitamins in the developed extruded breakfast cereals. The concentration of thiamine (vitamin B1) increased from 0.12 mg/100 g in the control sample to 0.15–0.17 mg/100 g in the experimental formulations. A similar trend was observed for riboflavin (vitamin B2), the content of which increased to 0.11–0.13 mg/100 g. The highest concentrations of B-group vitamins were recorded in formulations containing pumpkin powder and combinations of vegetable powders.

A particularly pronounced increase was observed for vitamin C. In the control sample, the concentration of vitamin C was negligible (0.10 mg/100 g), whereas in samples enriched with vegetable powders, its content increased to 0.72–0.90 mg/100 g. This increase can be attributed to the natural presence of ascorbic acid in carrot, beetroot, and pumpkin powders.

Analysis of the data obtained after three months of storage revealed a slight reduction in vitamin content across all investigated samples. Vitamin C exhibited the greatest sensitivity to storage conditions, with losses ranging from approximately 8% to 15%, whereas B-group vitamins decreased by an average of 5–10%. Despite these reductions, samples containing vegetable powders retained considerably higher vitamin levels than the control sample. The results indicate that the incorporation of vegetable powders effectively enhances the vitamin value of extruded breakfast cereals and that the majority of vitamins remain relatively stable during three months of storage.

To evaluate the microbiological stability of the extruded breakfast cereals, the dynamics of

the principal microbiological safety indicators were investigated throughout the storage period. Analyses were performed immediately after production and after three months of storage at a temperature of 20 ± 2 °C and a relative humidity of 60–70%. The obtained results are presented in Table 1.

Table 1 - Dynamics of microbiological indicators of breakfast cereals during storage

Sample	Storage period	TAMC, CFU/g	Coliform bacteria	Yeasts and molds, CFU/g	Salmonella spp.	Escherichia coli	Staphylococcus aureus
Control	0 **months**	1,5×10³	Not detected	1,0×10²	Not detected	Not detected	Not detected
	3 **months**	1,8×10³	Not detected	1,2×10²	Not detected	Not detected	Not detected
Formulation №1	0 **months**	1,4×10³	Not detected	0,9×10²	Not detected	Not detected	Not detected
	3 **months**	1,7×10³	Not detected	1,1×10²	Not detected	Not detected	Not detected
Formulation №2	0 **months**	1,3×10³	Not detected	0,8×10²	Not detected	Not detected	Not detected
	3 **months**	1,6×10³	Not detected	1,0×10²	Not detected	Not detected	Not detected
Formulation №3	0 **months**	1,4×10³	Not detected	0,9×10²	Not detected	Not detected	Not detected
	3 **months**	1,7×10³	Not detected	1,1×10²	Not detected	Not detected	Not detected
Formulation №4	0 **months**	1,3×10³	Not detected	0,8×10²	Not detected	Not detected	Not detected
	3 **months**	1,6×10³	Not detected	1,0×10²	Not detected	Not detected	Not detected
Formulation №5	0 **months**	1,3×10³	Not detected	0,8×10²	Not detected	Not detected	Not detected
	3 **months**	1,6×10³	Not detected	1,0×10²	Not detected	Not detected	Not detected
Formulation №6	0 **months**	1,4×10³	Not detected	0,9×10²	Not detected	Not detected	Not detected
	3 **months**	1,7×10³	Not detected	1,1×10²	Not detected	Not detected	Not detected

The results demonstrated that all investigated samples exhibited low levels of microbial contamination at the beginning of the storage period. The total mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganism count (TAMC) ranged from 1.3 × 10³ to 1.5 × 10³ CFU/g, while the counts of yeasts and molds varied between 0.8 × 10² and 1.0 × 10² CFU/g. In addition, coliform

bacteria, *Salmonella* spp., *Escherichia coli*, and *Staphylococcus aureus* were not detected in any of the analyzed samples.

After three months of storage, a slight increase in the total microbial population was observed. The TAMC values increased to 1.6 × 10^3–1.8 × 10^3 CFU/g, whereas yeast and mold counts rose to 1.0 × 10^2–1.2 × 10^2 CFU/g. Nevertheless, these changes remained well within the permissible sanitary and hygienic limits and did not show statistically significant differences compared with the initial values ($p > 0.05$).

Therefore, the obtained results demonstrate that the developed extruded breakfast cereals maintained their microbiological safety for at least three months under the recommended storage conditions of 20 ± 2 °C and a relative humidity of 60–70%.

The physical properties of the extruded breakfast cereals were evaluated based on bulk density, textural characteristics (fracturability), and color parameters. Analyses were performed immediately after production and at the end of the storage period. Bulk density is one of the key indicators characterizing the structural properties of extruded products, as it reflects the degree of expansion achieved during the extrusion process. The changes in bulk density observed in the investigated samples are presented in Figure 2.

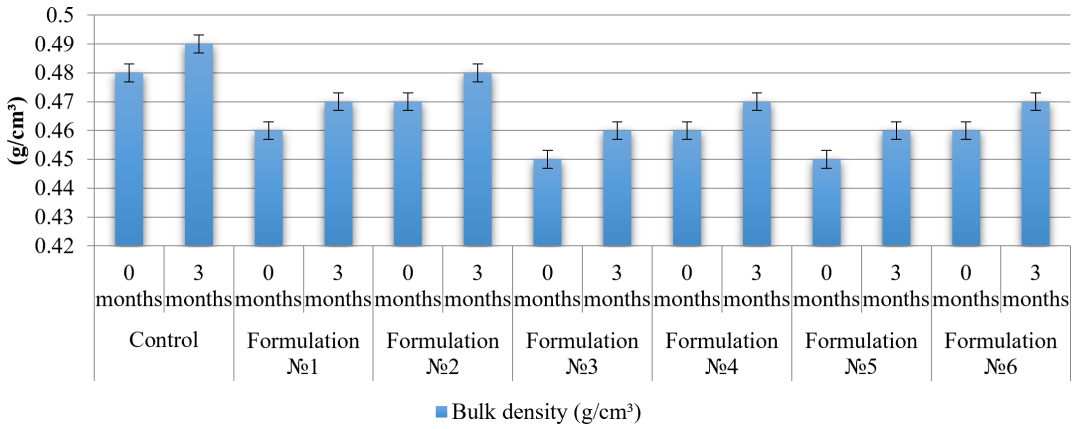


Fig.2 - Changes in the bulk density of extruded breakfast cereals during storage

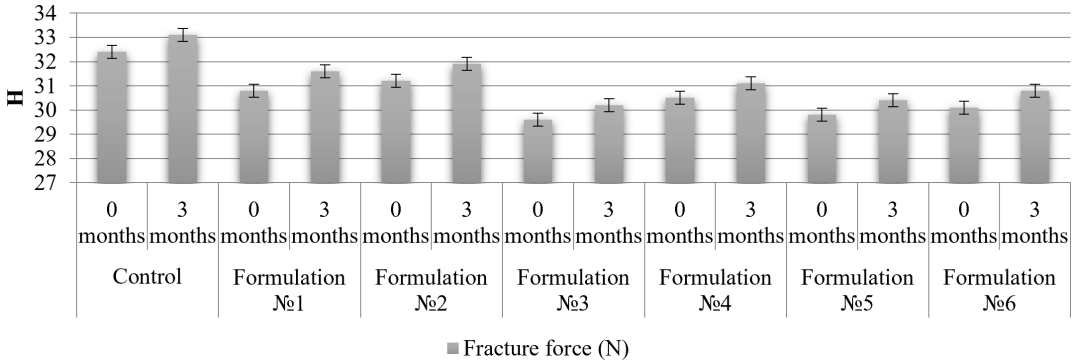


Fig.3 - Changes in the fracturability of extruded breakfast cereals during storage

Analysis of the obtained results showed that the bulk density values of all investigated samples ranged from 0.45 to 0.49 g/cm³. Lower bulk density values were observed in the experimental samples containing vegetable powders, indicating the formation of a more expanded and porous

structure in the extruded products.

During the three-month storage period, a slight increase in bulk density was recorded for all samples. This change may be attributed to partial structural compaction of the products and the redistribution of moisture within the matrix during storage. Nevertheless, the observed increase was relatively small, suggesting that the structural stability of the extruded breakfast cereals was largely maintained throughout the storage period.

The textural properties of the products were evaluated using the fracturability parameter. This indicator characterizes the mechanical strength and texture of extruded products and is closely associated with consumer perception of crispness. The changes in fracturability values observed during storage are presented in Figure 3.

According to the obtained results, the fracturability values of the extruded breakfast cereals ranged from 29.6 to 33.1 N. The control sample exhibited greater mechanical strength, whereas the experimental samples containing vegetable powders showed slightly lower fracture force values. This behavior can be attributed to the influence of vegetable additives on the porosity and textural characteristics of the extruded products.

A slight increase in fracturability was observed after three months of storage. This change indicates an increase in the mechanical strength of the products and may be associated with partial stabilization of the product structure and moisture redistribution occurring during storage.

The color characteristics of the products were determined using the CIELAB color space (L*, a*, b*), which enables objective and quantitative assessment of color changes in extruded products. In this system, L* represents lightness, a* describes the color coordinate ranging from green to red, and b* represents the color coordinate ranging from blue to yellow.

Table 2 - Changes in the color characteristics of extruded breakfast cereals during storage

Sample	Storage period (months)	L*	a*	b*
Control	0 **months**	72,5	1,8	18,3
	3 **months**	71,4	1,9	17,8
Formulation №1	0 **months**	69,4	6,7	21,5
	3 **months**	68,2	6,9	21,0
Formulation №2	0 **months**	64,8	9,6	16,7
	3 **months**	63,9	9,8	16,2
Formulation №3	0 **months**	70,3	5,4	23,1
	3 **months**	69,1	5,6	22,4
Formulation №4	0 **months**	67,2	7,8	20,4
	3 **months**	66,3	8,0	19,9
Formulation №5	0 **months**	68,5	6,2	22,6
	3 **months**	67,4	6,4	22,1
Formulation №6	0 **months**	66,1	8,3	19,2
	3 **months**	65,3	8,5	18,7

Note: L - lightness of the product; a* - color coordinate ranging from green to red; b* - color coordinate ranging from blue to yellow.*

The color characteristics presented in Table 2 were determined in triplicate (n = 3) and are expressed as mean values ± standard deviation. Statistical analysis of the obtained data was performed using Microsoft Excel software. The significance of differences among samples was evaluated at a confidence level of $p \leq 0.05$.

Analysis of the results showed that the L* parameter decreased by approximately 0.8–1.2 units in all samples during storage, indicating a slight darkening of the products. However, these changes were not statistically significant ($p > 0.05$). Higher a* values were observed in the samples containing beetroot powder, which can be attributed to the presence of natural red pigments. In contrast, samples enriched with carrot and pumpkin powders exhibited higher b* values due to the contribution of carotenoid pigments.

Only minor variations in the a* and b* parameters were observed throughout the storage period, with fluctuations ranging from 0.2 to 0.7 units. Statistical analysis demonstrated that most of these changes were not significant ($p > 0.05$), indicating that the color characteristics of the products remained relatively stable during the three-month storage period.

The obtained results demonstrate that the physical and color properties of the extruded breakfast cereals remained largely unchanged during storage. Furthermore, the incorporation of vegetable powders contributed to maintaining the stability of the products' consumer-oriented quality attributes throughout the storage period.

Conclusion. The present study provided a comprehensive evaluation of the nutritional value, microbiological safety, and physical properties of extruded breakfast cereals enriched with vegetable powders. The results demonstrated that the incorporation of vegetable powders significantly improved the vitamin composition of the products. The experimental samples contained higher levels of thiamine (B1), riboflavin (B2), niacin (B3), pantothenic acid (B5), pyridoxine (B6), and folic acid (Bc) compared with the control sample. A particularly pronounced increase was observed for vitamin C. Although its concentration decreased by approximately 8–15% during storage, the vitamin C content in the vegetable-enriched samples remained substantially higher than that of the control. The reduction in B-group vitamins during storage was relatively limited, averaging 5–10%.

Microbiological analyses confirmed that the total mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganism count (TAMC) in all samples remained within the permissible sanitary and hygienic limits throughout the storage period. In addition, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., and *Staphylococcus aureus* were not detected in any of the analyzed samples. Although a slight increase in microbial counts was observed during storage, the recorded values remained well below the established regulatory limits, confirming the microbiological safety of the developed products.

Evaluation of the physical properties of the extruded products revealed that the bulk density of the experimental samples ranged from 0.45 to 0.49 g/cm³, while fracturability values varied between 29.6 and 33.1 N. Slight increases in both bulk density and fracturability were observed during storage, which may be attributed to structural consolidation of the products and moisture redistribution within the matrix. Variations in color parameters (L*, a*, and b*) were also observed and were dependent on the type of vegetable powder incorporated into the formulation.

The scientific novelty of this study lies in the comprehensive assessment of the effects of carrot, beetroot, and pumpkin powders, applied individually and in combination, on the vitamin composition, microbiological stability, and physical properties of extruded breakfast cereals. The findings demonstrated that the incorporation of vegetable powders not only enhanced the nutritional value of the products but also contributed to maintaining the stability of their quality characteristics during storage.

Overall, the obtained results confirm that the use of vegetable powders in the production of extruded breakfast cereals is an effective approach for improving both nutritional quality and consumer-related properties. Furthermore, under the recommended storage conditions, the developed

products can be safely stored for at least three months while maintaining satisfactory quality and microbiological safety.

Funding. *This research was carried out within the framework of the program "Development of Innovative Technologies for Processing and Storage of Agricultural Crop Products and Raw Materials", funded by the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan, under Project BR22886613, entitled "Development of Technology for Cereal-Based Breakfast Cereals for Dietary Nutrition."*

References

1. Boukid F., Rosell C. M. Advances and challenges in breakfast cereals: nutrition, innovation, and sustainability //Critical Reviews in Food Science and Nutrition. -2025. -Vol.66(11). -P.2159-2173. DOI 10.1080/10408398.2025.2564889.

2. Савкина О.А., Локачук М.Н., Павловская Е.Н. Исследование микробной контаминазии мюслей и сырья// Пищевая индустрия. -2020. -№ 1. - С.48-50. DOI 10.24411/9999-008A-2020-10003.

3. Валевская Л.А. и др. Исследование возможности использования крупы кукурузной в производстве зерновых завтраков //International Scientific and Practical Conference World science. - 2017. -Т.3. -№.8(24). - С. 4-9.

4. Śliżewska K., et al. The impact of packaging on the microbiological quality of breakfast cereals //Technologia i Jakość Wyrobów. -2024. -Vol.69. -P.58-66. DOI 10.57636/69.2024.1.5.

5. Singh R., et al. Storage stability of popped pearl millet based ready to eat breakfast cereal //Indian Journal of Agricultural Sciences. -2020. -Vol.90(10). -P.1915-1920. DOI 10.56093/ijas.v90i10.107902.

6. Budagova G., Buyukunal S.K., Muratoglu K. Determination of mycotoxins in breakfast cereals by LC-MS/MS //Food Control. -2025. -Vol.168: 110971. DOI 10.1016/j.foodcont.2024.110971.

7. Mardar M., et al. Microbiota of instant cereals and its change during storage/ Food science and technology. -2019. -Vol.13(1). - P.114-121. DOI 10.15673/fst.v13i1.1336.

8. Sá S.V.M., et al. In vitro digestion and intestinal absorption of mycotoxins due to exposure from breakfast cereals: implications for children's health //Toxins. -2024. -Vol.16(5): 205. DOI 10.3390/toxins16050205.

9. Edima-Nyah A.P., et al. Chemical, Microbial, and Sensory Properties of Breakfast Cereals Made from Yellow Maize and Soybean Flour Blends with Firmly Ripe Banana Flavoring //IPS Journal of Nutrition and Food Science. -2024. -Vol.3(3). -P.227-233. DOI:10.54117/ijnfs. v3i3.5.

10. Okoye J.I., Ebeh O.C., Eze S.I. Nutritional, Functional, Microbiological and Organoleptic Properties of Breakfast Cereals Formulated from Maize, Soybean and Carrot Flour Blends //European Journal of Nutrition and Food Safety. -2025. -Vol.17(3). -P.195-212. DOI 10.9734/ejnfs/2025/v17i31657.

11. Kambarova A., et al. Development, Optimization, and Evaluation of a Multicomponent Cereal-Based Food Mixture: Nutritional, Biological, and Microbiological Aspect //Applied Sciences. -2026. -Vol.16(5): 2593. DOI: 10.3390/app16052593.

12. Daniels G. A. Effect of functional enzyme additives on the sensory and shelf-life properties of ready-to-eat breakfast cereals. Thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science/ Stellenbosch: Stellenbosch University. Master' s thesis. -2019.

Information about the authors

Sultanova M.Zh. - Project manager of Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: sultanova.2012@mail.ru;

Akzhanov N. - Senior researcher of Kazakh Research Institute of processing and food industries LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: nurtore0308@gmail.com;

Saduakas A.S. - Researcher, Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: aykon96@mail.ru;

Kamali A.S. - Junior researcher of Kazakh Research Institute of processing and food industries LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: akerke.kamali@bk.ru;

Dodaev K. - Doctor of Technical Sciences, Professor, Tashkent Institute of Chemical Technology, Tashkent, Uzbekistan, e-mail: Dodaev@rambler.ru.

Сведения об авторах

Султанова М.Ж. - руководитель проекта, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Астана, Казахстан, e-mail: sultanova.2012@mail.ru;

Акжанов Н. - старший научный сотрудник, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Астана, Казахстан, e-mail: nurtore0308@gmail.com;

Сәдуақас Ә.С. - научный сотрудник, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Астана, Казахстан, e-mail: aykon96@mail.ru;

Камали А.С. - младший научный сотрудник лаборатории функционального питания и пищевых концентратов, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Астана, Казахстан, e-mail: akerke.kamali@bk.ru;

Додаев К.О. - доктор технических наук, профессор, Ташкентский химико-технологи ческий институт, г. Ташкент, Узбекистан, Dodoev@rambler.ru.

МРНТИ 65.63.05 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1590**

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ТВОРОЖНОГО ПРОДУКТА ИЗ КОМБИНИРОВАННОГО МОЛОКА

[1]Г.Е. Турлыбекова, [1]Н.С. Ханжаров, [2]Е.П. Сучкова, [1]Н.Н. Ташболтаева, [1]У.Б. Абдиманап

[1]Южно-Казахстканский университет им. М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан,
[2]Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт Петербург, Россия

Корреспондент-автор: khanzharov_n@mail.ru

Расширение ассортимента функциональных молочных продуктов требует научного обоснования их санитарной безопасности, пищевой ценности и технологической устойчивости. Верблюжье молоко характеризуется повышенной биологической активностью, высоким содержанием белков, витаминов и биологически активных компонентов, но его технологические свойства ограничивают возможность получения стабильных творожных продуктов из-за сниженного содержания к-казеина и особенностей строения казеиновых мицелл. В связи с этим сочетание верблюжьего и коровьего молока рассматривается как эффективный способ объединить питательные преимущества первых и структурных свойств второго.

Целью исследования была комплексная оценка показателей безопасности, физико-химических и структурно-механических характеристик творожного продукта, произведенного из смесей верблюжьего и коровьего молока с соотношениями 100:0 (контроль), 80:20, 60:40, 40: 60 и 0;100(контроль). Все исследования проведены в трехкратной повторности с применением статистической обработки данных. Анализы проводились в аккредитованной лаборатории в соответствии с требованиями действующих технических регламентов и стандартов.

Во всех исследуемых образцах выявлено отсутствие афлатоксина M_1 и остаточного количества пестицидов. Концентрация токсичных элементов была значительно ниже допустимого порога. Патогенная микрофлора, в том числе E. бактерии coli, Staphylococcus aureus и Salmonella не обнаружены. Удельная активность радионуклидов CS-137 и Sr-90 в 100 раз ниже нормативных значений, что подтверждает экологическую безопасность сырья.

Для образцов с соотношением верблюжьего и коровьего молока 60:40 установлены наиболее оптимальные показатели. Этот вариант характеризовался однородной и плотной консистенцией, высокой органолептической оценкой (4,6 балла), массовой долей белка 16,0%, содержанием СОМО 15%, влагоудерживающей способностью 68,7% и стабильными структруно-механическими свойствами при хранении в течение 72 часов.

Результаты подтверждают санитарную безопасность, высокую пищевую ценность и технологическую целесообразность комбинирования верблюжьего и коровьего молока в производстве творога, что позволяет рассматривать разработанный продукт как перспективное направление функционального молочного производства.

Ключевые слова: верблюжье молоко, коровье молоко, творожный продукт, безопасность, влагоудерживающая способность, структурно-механические свойства.

ҚҰРАМДАСТЫРЫЛҒАН СҮТТЕН ӨНДІРІЛГЕН СҮЗБЕ ӨНІМІНІҢ САПАСЫ МЕН ҚАУІПСІЗДІГІН БАҒАЛАУ

[1]Г.Е. Тұрлыбекова, [1]Н.С. Ханжаров, [2]Е.П. Сучкова, [1]Н.Н. Ташболтаева, [1]Ұ.Б. Әбдіманап

[1]М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,
[2]ИТМО Ұлттық зерттеу университеті, Санкт-Петербург, Ресей,
e-mail: khanzharov_n@mail.ru

Функционалды сүт өнімдерінің түрлерін кеңейту олардың санитарлық қауіпсіздігін, тағамдық құндылығын және технологиялық тұрақтылығын ғылыми тұрғыдан негіздеуді талап етеді. Түйе сүті биологиялық белсенділіктің жоғарылауымен және ақуыздардың, дәрумендердің және биологиялық белсенді компоненттердің көп мөлшерімен сипатталады. Дегенмен, оның технологиялық қасиеттері к-казеин мөлшерінің төмендеуіне және казеин мицеллаларының құрылымдық ерекшеліктеріне байланысты тұрақты ірімшік өнімдерін өндіру мүмкіндігін шектейді. Сондықтан түйе мен сиыр сүтінің үйлесімі біріншісінің тағамдық пайдасын соңғысының құрылымдық қасиеттерімен біріктірудің тиімді тәсілі болып саналады.

Зерттеудің мақсаты түйе мен сиыр сүтінің қоспаларынан 100:0 (бақылау), 80:20, 60:40, 40:60 және 0:100 (бақылау) қатынасында өндірілген сүзбе өнімінің қауіпсіздік көрсеткіштерін, физика-химиялық және құрылымдық-механикалық сипаттамаларын кешенді бағалау болды. Барлық зерттеулер статистикалық деректерді өңдеуді қолдана отырып, үш реттен жүргізілді. Талдаулар аккредиттелген зертханада қолданыстағы техникалық ережелер мен стандарттарға сәйкес жүргізілді.

Сыналған барлық үлгілерде афлатоксин M_1 және пестицид қалдықтары болмады. Уытты элементтердің концентрациясы рұқсат етілген шектен айтарлықтай төмен болды. E. coli, Staphylococcus aureus және Salmonella сияқты патогендік микрофлора анықталмады. CS-137 және Sr-90 радионуклидтерінің меншікті белсенділігі нормативтік шектеулерден 100 есе төмен болды, бұл шикізаттың экологиялық қауіпсіздігін растайды.

Ең оңтайлы параметрлер түйе мен сиыр сүтінің қатынасы 60:40 болатын үлгілер үшін белгіленді. Бұл нұсқа біркелкі және тығыз консистенциясымен, жоғары органолептикалық рейтингімен (4,6 балл), ақуыз мөлшері 16,0%, суды ұстау қабілеті 15%, су ұстау қабілеті 68,7% және 72 сағаттық сақтау кезінде тұрақты құрылымдық және механикалық қасиеттерімен сипатталды.

Нәтижелер сүзбе өндірісінде түйе мен сиыр сүтін біріктірудің санитарлық қауіпсіздігін, жоғары тағамдық құндылығын және технологиялық мүмкіндігін растайды, бұл әзірленген өнімді функционалды сүт өндірісіндегі перспективалы бағыт деп санауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: түйе сүті, сиыр сүті, сүзбе өнімі, қауіпсіздік, су ұстау қабілеті, құрылымдық және механикалық қасиеттер.

ASSESSMENT OF QUALITY AND SAFETY OF A COTTAGE CHEESE PRODUCT PRODUCED FROM COMBINED MILK

[1]G.E. Turlybekova, [1]N.S. Khanzharov✉, [2]E.P. Suchkova, [1]N.N. Tashboltayeva, [1]U.B. Abdumanap

[1]M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan,
[2]ITMO National Research University, Saint Petersburg, Russian,
e-mail: khanzharov_n@mail.ru

Expanding the range of functional dairy products requires scientific substantiation of their sanitary safety, nutritional value, and technological stability. Camel milk is characterized by increased biological activity and a high content of proteins, vitamins, and biologically active components. However, its technological properties limit the possibility of producing stable curd products due to its reduced κ-casein content and the structural features of casein micelles. Therefore, a combination of camel and cow' s milk is considered an effective way to combine the nutritional benefits of the former with the structural properties of the latter.

The aim of the study was to comprehensively evaluate the safety indicators, physicochemical, and structural-mechanical characteristics of a curd product produced from mixtures of camel and cow' s milk in ratios of 100:0 (control), 80:20, 60:40, 40:60, and 0:100 (control). All studies were conducted in triplicate using statistical data processing. The analyses were conducted in an accredited laboratory in accordance with current technical regulations and standards.

All samples tested were free of aflatoxin M1 and pesticide residues. Concentrations of toxic elements were significantly below the permissible threshold. Pathogenic microflora, including E. coli, Staphylococcus aureus, and Salmonella, were not detected. The specific activity of radionuclides CS-137 and Sr-90 was 100 times lower than the regulatory limits, confirming the environmental safety of the raw materials.

Samples with a camel to cow milk ratio of 60:40 demonstrated the most optimal values. This variant was characterized by a uniform and dense consistency, a high organoleptic rating (4.6 points), a protein content of 16.0%, a water-holding capacity of 15%, a water-holding capacity 68.7%, and stable structural and mechanical properties during 72-hour storage.

The results confirm the sanitary safety, high nutritional value, and technological feasibility of combining camel and cow' s milk in cottage cheese production, allowing the developed product to be considered a promising direction in functional dairy production.

Keywords: camel milk, cow milk, cottage cheese product, safety, water-holding capacity, structural and mechanical properties.

Введение. Современные тенденции развития пищевой промышленности ориентированы на создание продуктов с повышенной биологической ценностью и подтверждённой безопасностью [1]. В данном контексте верблюжье молоко представляет значительный научный и практический интерес благодаря особенностям белкового состава, высокому содержанию биологически активных веществ и устойчивости к микробной контаминации.

Однако, несмотря на указанные преимущества, технологическая переработка верблюжьего молока сопряжена с определёнными трудностями. Низкое содержание к-казеина и специфическая структура казеиновых мицелл обуславливают формирование менее плотного сгустка при кислотной коагуляции [2]. В результате выход творога снижается, а текстурные характеристики становятся нестабильными.

Следовательно, для компенсации указанных ограничений целесообразно использование комбинированного сырья. Добавление коровьего молока, обладающего выраженными коагуляционными свойствами, способствует формированию более плотной белковой матрицы [3]. Одновременно высокая доля верблюжьего молока позволяет сохранить его нутритивные преимущества.

Научная проблема настоящего исследования заключается в противоречии между технологическими ограничениями верблюжьего молока (недостаточная коагуляция белков) и необходимостью создания стабильной структуры творожного продукта с сохранением высокой биологической ценности и безопасности.

Несмотря на наличие публикаций, посвящённых безопасности и пищевой ценности верблюжьего молока, вопросы формирования стабильной структуры творожных продуктов на основе комбинированного сырья остаются недостаточно изученными. В литературе ограничено количество исследований, в которых одновременно рассматривались бы показатели санитарной безопасности, физико-химические характеристики и технологические свойства (структурно-механические, влагоудерживающая способность, стабильность при хранении) творожного продукта из смеси верблюжьего и коровьего молока. Кроме того, недостаточно раскрыты механизмы влияния соотношения молочных компонентов на формирование белковой матрицы, влагоудерживающую способность и стабильность структуры продукта.

Целью настоящего исследования стало изучение влияния комбинирования верблюжьего и кобыльего молока в различных соотношениях на формирование безопасного и технологически стабильного творожного продукта с повышенной биологической ценностью, а также сравнительный анализ структурно-механических свойств и стабильности при хранении.

Для решения поставленной проблемы были сформулированы следующие задачи:

- оценить токсикологические, микробиологические и радиологические показатели разработанного продукта;

- исследовать физико-химические характеристики продукта;

- провести сравнительный анализ образцов с различным соотношением верблюжьего и коровьего молока;

- установить влияние комбинирования молочного сырья на формирование структуры и стабильность творожного сгустка с применением статистической обработки данных.

Научная новизна исследования заключается в комплексной оценке безопасности, а также в выявлении закономерностей формирования структурно-механических свойств творожного продукта при комбинировании верблюжьего и кобыльего молока в соотношении 60:40, включая количественную оценку влагоудерживающей способности и стабильности сгустка в зависимости от доли компонентов.

Следует отметить, что изменение рецептурного состава может влиять на токсикологические, микробиологические и радиологические показатели продукции [4]. По этой причине проведение комплексной оценки безопасности является обязательным этапом научного обоснования новой технологии [5]. Предыдущие исследования автора показывают, что кислотность творога шубата формируется в зависимости от активности содержащихся в нем молочнокислых бактерий и исходных физико-химических свойств верблюжьего молока. Особенности медленного накопления кислоты в верблюжьем молоке и процесса свёртывания затрудняют образование творога. Из-за этого технологически выгодно смешивать коровье молоко с верблюжьим молоком, поскольку коровье молоко улучшает свёртывание белков, обеспечивая быстрое формирование кислотности. В результате стабилизируется процесс образования творога, повышается структура и качество готового продукта [6].

Согласно результатам органолептических исследований, оптимальным соотношением верблюжьего и коровьего молока для производства творога является 60:40. При данном соотношении формируется слабокислая среда, благоприятная для эффективной коагуляции белков и образования стабильного, однородного творожного сгустка. В результате улучшаются структурные и органолептические показатели продукта, что подтверждает технологическую целесообразность использования указанной пропорции.

Материалы и методы. Объектом исследования являлись четыре группы опытных образцов творожного продукта, изготовленные из смесей верблюжьего и коровьего молока с различным соотношением компонентов: образец К1 (контрольный 1) – 100% верблюжье молоко, образец К2 (контрольный 2) - 100% коровье молоко; 80:20; 60:40 и 40:60. Основное внимание уделялось образцу с соотношением 60:40, поскольку предварительные органолептические исследования показали его наилучшие структурные характеристики.

Для получения творожного продукта использовали пастеризованное верблюжье и коровье молоко. Пастеризацию проводили при температуре 72±2°С с выдержкой 20 секунд. После охлаждения до температуры заквашивания вносили закваску молочнокислых культур. Сквашивание осуществляли при температуре 32±1°С до достижения кислотности 75–80°Т в течение 6-8 часов. Далее проводили самопрессование в течение 4 часов при температуре 20±2°С и отделение сыворотки.

Готовый продукт хранился при температуре (4±2)°С в течение 72 часов до проведения анализа.

Исследования выполнялись в трёхкратной повторности для каждого образца (n=3) в аккредитованной лаборатории в соответствии с требованиями ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» и ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

В образцах определяли:

- афлатоксин M_1;

- содержание свинца, кадмия, мышьяка и рту-

ти;

- остаточные количества хлорорганических пестицидов;

- наличие патогенных микроорганизмов;

- содержание дрожжей и плесеней;

- удельную активность Cs-137 и Sr-90;

- массовую долю белка, жира и сухого обезжиренного молочного остатка;

- влагоудерживающую способность (ВУС);

- титруемую кислотность;

- органолептические показатели (вкус, запах, консистенция, внешний вид) по пятибалльной шкале с привлечением трёх экспертов;

- структурно-механические свойства продукта (плотность сгустка, оцениваемая по сопротивлению вдавливанию конуса, степень отделения сыворотки методом центрифугирования).

Органолептическую оценку проводили по показателям вкуса, запаха, консистенции и внешнего вида по пятибалльной шкале. Влагоудерживающую способность определяли методом центрифугирования. Структурно-механические свойства оценивали по плотности и однородности сгустка.

Полученные экспериментальные данные обрабатывали методом вариационной статистики. Результаты представлены в виде средней арифметической величины и стандартного отклонения (M±m). Статистическую обработку выполняли с использованием программы Microsoft Excel. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. Результаты исследования токсикологических показателей разработанного творожного продукта приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Токсикологические показатели (M=m, n=3)

№	Наименование показателей	НД на методы испытаний	Значения определяемых показателей					
			Нормируемые	К1 (100% в.м.*)	80:20	60:40	40:60	К2 100% к.м.*)
1	Микотоксины, мг/кг, не более							
	Афлатоксин М1, мг/мг, не более	ГОСТ 30711-2001 [7]	0,0005	0	0	0	0	0
2	Содержание токсичных элементов, мг/кг, не более:							
	Свинец (Pb)	МУ 04-64-2017	0,3	0,0058 ± 0,0003	0,0060 ± 0,0004	0,0062 ± 0,0003	0,0065 ± 0,0004	0,0068 ± 0,0005
	Кадмий (Cd)	МУ 04-64-2017	0,1	0	0	0	0	0
	Мышьяк (As)	МУ 04-64-2017	0,2	0	0	0	0	0
	Ртуть (Hg)	МУ 04-64-2017	0,02	0	0	0	0	0

3	Содержание остаточного количества пестицидов мг/кг, не более:							
	ГХЦГ (α,β,γ-изомеры), мг/мг	СТ РК 2011-2010	1,25	0	0	0	0	0
	ДДТ и метаболиты, мг/мг	СТ РК 2011-2010	1,0	0	0	0	0	0

** примечание: в.м. – верблюжье молоко; к.м. – коровье молоко.*

Результаты исследования токсикологических показателей показали, что в исследуемых образцах афлатоксина M_1 не обнаружено. Концентрация свинца (Pb) в пробах составила от 0,0058 до 0,0065 мг/кг.

Полученные значения оказались в 44-50 раз ниже нормативно допустимого уровня (0,3 мг/кг). Содержания кадмия (Cd), мышьяка (As) и ртути (Hg) находилось ниже предела обнаружения использованного аналитического метода. Статистически значимых различий между образцами по содержанию свинца не выявлено ($p>0,05$)

Таблица 2 - Микробиологические показатели безопасности разработанного продукта (M=m, n=3)

№	Наименование показателей	НД на методы испытаний	Значения определяемых показателей					
			Нормируемые	К1 (100% в.м.*)	80:20	60:40	40:60	К2 100% к.м.*)
1	Микотоксины, мг/кг, не более							
	Афлатоксин М1, мг/мг, не более	ГОСТ 30711-2001 [7]	0,0005	0	0	0	0	0
2	Содержание токсичных элементов, мг/кг, не более:							
	Свинец (Pb)	МУ 04-64-2017	0,3	0,0058 ± 0,0003	0,0060 ± 0,0004	0,0062 ± 0,0003	0,0065 ± 0,0004	0,0068 ± 0,0005
	Кадмий (Cd)	МУ 04-64-2017	0,1	0	0	0	0	0
	Мышьяк (As)	МУ 04-64-2017	0,2	0	0	0	0	0
	Ртуть (Hg)	МУ 04-64-2017	0,02	0	0	0	0	0

3	Содержание остаточного количества пестицидов мг/кг, не более:							
	ГХЦГ (α,β,γ-изомеры), мг/мг	СТ РК 2011-2010	1,25	0	0	0	0	0
	ДДТ и метаболиты, мг/мг	СТ РК 2011-2010	1,0	0	0	0	0	0

** примечание: в.м. – верблюжье молоко; к.м. – коровье молоко.*

Таблица 3 - Радиологическая безопасность разработанного продукта (M=m, n=3)

№	Наименование показателей	НД на методы испытаний	Значения определяемых показателей					
			Нормируемые	К1 (100% в.м.*)	80:20	60:40	40:60	К2 (100% к.м.*)
	Удельная активность радинуклидов, Бк/кг, не более							
1	Цезий-137	СТ РК 1623-2007	200	1,210 ± 0,05	1,287 ± 0,06	1,354 ± 0,05	1,354 ± 0,05	1,354 ± 0,06
2	Стронций-90	СТ РК 1623-2007	60	0,482 ± 0,02	0,507 ± 0,02	0,531 ± 0,02	0,531 ± 0,03	0,550 ± 0,03

** примечание: в.м. – верблюжье молоко; к.м. – коровье молоко.*

Результаты исследований микробиологических показателей разработанного творожного продукта приведены в таблице 2.

Результаты микробиологических исследований показали отсутствие патогенной микрофлоры, бактерий группы кишечной палочки и Staphylococcus aureus во всех исследуемых образцах. Количество дрожжей варьировало в пределах 11-15 КОЕ/г, что значительно ниже допустимого уровня (p>0,5 между образцами). Плесневые грибы не обнаружены.

Результаты исследований радиологической безопасности разработанного продукта приведены в таблице 3.

Фактические показатели более чем в 100 раз ниже предельных уровней. Статистически значимого увеличения радионуклидов при добавлении коровьего молока не обнаружено (p>0,05).

Результаты исследований физико-химических характеристик разработанного творожного продукта приведены в таблице 4.

Результаты исследования физико-химических характеристик разработанных творожных продуктов показали:

- массовая доля белка достигла 13,2-17,2% при нормативном минимуме в 12%, содержание белка в образце 60:40 (16,0%) статистически значимо выше, чем в контрольном образце из 100% коровьего молока (13,2%) (p <0.05);

- массовая доля жира составила 8-10,0%, содержание СОМО составило 13,5-15,3% при нормативе не менее 13,5%. В образце 60:40 данный

показатель (15,0%) значительно выше, чем в контроле из коровьего молока (13,5%) (p <0.05);

- кислотность и водоудерживающая способность закономерно возрастали при увеличении доли коровьего молока: ВУС увеличилась с 61,2% (100% верблюжье) до 68,7% (60:40) и 70,1% (100% коровье).

Таблица 4 - Физико-химические характеристики разработанного творожного продукта (M=m, n=3)

№	Наименование показателей	НД на методы испытаний	Значения определяемых показателей					
			Нормируемые	К1 (100% в.м.*)	80:20	60:40	40:60	К2 (100% к.м.*)
1	Массовая доля белка, %, не менее	ГОСТ 23327-98 [12]	12,0	17,2 ± 0,3	16,8 ± 0,2	16 ± 0,2**	14,5 ± 0,2**	13,2 ± 0,2**
2	Массовая доля жира, %, не более	ГОСТ 5867-2023 [13]	0,1-35	8 ± 0,2	8,5 ± 0,2	9 ± 0,2	9,5 ± 0,2	10,0 ± 0,2
3	СОМО, %, не менее	ГОСТ Р 54761-2011 [14]	13,5	15,3 ± 0,2	15,1 ± 0,2	15,0 ± 0,2	14,1 ± 0,2**	13,5 ± 0,2**
4	Кислотность, ^{0}Т	ГОСТ 3624-92	65-220	72 ± 2	76 ± 2	78 ± 2**	82 ± 2**	85 ± 2**
5	Влагоудерживающая способность, %	центрифугирование	-	61,2 ± 1,5	64,5 ± 1,2	68,7 ± 1,2**	69,4 ± 1,3**	70,1 ± 1,4**

** примечание: в.м. – верблюжье молоко; к.м. – кобылье молоко.*

*** - различия статистически значимы по сравнению с К1 при p>0,05.*

При увеличении доли коровьего молока возрастали кислотность и влагоудерживающая способность продукта, что связано с более выраженными коагуляционными свойствами казеинового комплекса коровьего молока. Наиболее сбалансированные показатели, сочетающие высокое содержание белка (16,0%), достаточное количество сухих веществ (15,0%) и стабильные структурно-механические характеристики (плотность сгустка 0,85±0,02 г/см^3), отмечены у образца с соотношением 60:40.

Для объективной оценки влияния комбинирования молочного сырья был проведён сравнительный анализ всех пяти образцов, включая два контрольных (100% верблюжье и 100% коровье молоко).

Установлено, что увеличение доли верблюжьего молока сопровождалось ростом содержания белка и СОМО, однако одновременно ухудшались структурно-механические свойства продукта. В образцах с высоким содержанием верблюжьего молока формировался менее плотный и менее устойчивый сгусток, что связано с пониженным содержанием к-казеина и особенностями казеиновых мицелл.

Добавление коровьего молока способствовало усилению коагуляционных процессов и формированию более стабильной белковой структуры. По результатам сравнительного анализа с контрольными образцами наиболее оптимальным оказалось соотношение 60:40, при котором сочетались высокая пищевая ценность, (белок 16,0% против 13,2% в К2), хорошие органолеп-

тические характеристики (4,6 балла) и стабильная консистенция (плотность сгустка на 18% выше, чем у К1, при р <.0.05).

Таблица 5 - Сравнительная характеристика образцов творожного продукта (M=m)

Образец	Консистенция	Белок, %	СОМО, %	Органолептическая оценка, баллы
К1(100% верблюжье)	Рыхлая, недостаточно плотная	17,2 ± 0,3	15,3 ± 0,2	4,1 ± 0,1
80:20	Мягкая, слабоустойчивая	16,8 ± 0,2	15,1 ± 0,2	4,3 ± 0,1
60:40	Однородная, плотная	16,0 ± 0,2*	15,0 ± 0,2	4,6 ± 0,1*
40:60	Плотная	14,5 ± 0,2*	14,1 ± 0,2*	4,4 ± 0,1
К2 (100% коровье)	Очень плотная, склонная к крупитчатости	13,2±0,2*	13,5±0,2*	4,2±0,1

** - различия статистически значимы при сравнении с К1 (р <0,05).*

Полученные результаты подтверждают, что комбинирование молочного сырья оказывает прямое влияние на формирование структуры творожного продукта и позволяет компенсировать технологические ограничения верблюжьего молока.

Механизм формирования структуры. Следует отметить, что формирование структуры творожного продукта напрямую связано с особенностями белкового комплекса используемого сырья. Для верблюжьего молока характерно пониженное содержание к-казеина, обеспечивающего стабилизацию казеиновых мицелл и образование плотного коагуляционного сгустка. В результате при использовании исключительно верблюжьего молока формируется рыхлая и менее устойчивая структура.

Добавление коровьего молока повышает содержание к-казеина и способствует формированию более прочной пространственной белковой матрицы. Одновременно сохраняется повышенное содержание сывороточных белков и биологически активных компонентов верблюжьего молока. Именно этим объясняется улучшение структурно-механических характеристик продукта при сохранении высокой пищевой ценности. Количественно это выражается в увеличении влагоудерживающей способности с 61,2% (К1) до 68,7% (60:40) и снижении отделения сыворотки в процессе хранения с 12% до 5% за 72 часа.

Кроме того, увеличение содержания сухих веществ в образце 60:40 положительно влияло на влагоудерживающую способность продукта и обеспечивало более стабильную консистенцию при хранении.

Результаты настоящего исследования сопоставлены с данными отечественных и зарубежных авторов, изучавших показатели безопасности и технологические свойства верблюжьего и комбинированного молочного сырья.

В отличие от работ, ограничивающихся констатацией нормативного соответствия [15,16], настоящее исследование впервые для данного типа продукта представляет количественные данные о влиянии соотношения верблюжьего и коровьего молока на структурно-механические свойства и влагоудерживающую способность творожного сгустка.

Более значимыми для интеграции наших дан-

ных является работа Бейсембековой и соавторов [20], где подчёркивается пониженное содержание к-казеина в верблюжьем молоке. Нами впервые показано, что добавление 40% коровьего молока увеличивает ВУС на 12,3% по сравнению с чистым верблюжьим молоком, что прямо подтверждает о стабилизации белковой матрицы за счёт дополнительного к-казеина.

Таким образом, сопоставление полученных результатов с данными современной литературы показывает следующее:

- токсикологические и микробиологические показатели находятся на уровне, представленном в аналогичных исследованиях [15-18, 21, 23];

- впервые установлено количественное влияние комбинирования верблюжьего и коровьего молока на влагоудерживающую способность (увеличение на 12,3% при соотношении 60:40 по сравнению с 100% верблюжьим молоком) и структурную стабильность сгустка;

- повышенная массовая доля белка (16% в оптимальном образце) подтверждает данные о высокой биологической ценности верблюжьего молока [19, 22, 24];

- комбинирование с коровьим молоком технологически оправдано и согласуется с данными о структуре казеинового комплекса [20, 25].

Дополнительно была проведена оценка стабильности продукта в процессе хранения при температуре (4±2)°С в течение 72 часов. В течение исследуемого периода не наблюдалось отделения значительного количества сыворотки (отделение сыворотки составило 5,2% против 11,8% в К1 и 4,1% в К2), изменения цвета или появления постороннего запаха. Кислотность увеличилась незначительно: с 78 ºТ до 82ºТ. В контрольных образцах изменения были более выраженными (в К1 с 72 ºТ до 79 ºТ, в К2 с 85 ºТ до 91 ºТ). Микробиологические показатели оставались в пределах нормативных требований, а консистенция продукта сохраняла однородность и пластичность. Это свидетельствует о достаточной устойчивости белковой структуры разработанного продукта (промежуточной между верблюжьим и коровьим контролем) и подтверждает технологическую целесообразность использования комбинированного молочного сырья.

Выводы. Проведённые исследования с применением статистической обработки данных и сравнительного анализа с двумя контрольными образцами показали, что комбинирование верблюжьего и коровьего молока оказывает существенное влияние на формирование структуры и физико-химических свойств творожного продукта.

Установлено, что увеличение доли верблюжьего молока способствует повышению содержания белка и СОМО, однако при этом ухудшаются структурно-механические свойства сгустка (снижение влагоудерживающей способности с 70,1% вК2 до 61,2% в К1). Добавление коровьего молока обеспечивает стабилизацию коагуляционных процессов и формирование более плотной белковой матрицы при добавлении 40% коровьего молока по сравнению с чистым верблюжьим.

Наиболее оптимальным оказалось соотношение 60:40, при котором достигалось сочетание высокой биологической ценности (белок 16,0%, что на 21,2% выше, чем в контроле из коровьего молока), удовлетворительных органолептических характеристик (4,6 балла) и стабильной структуры продукта (ВУС 68,7%, отделение сыворотки при хранении 5,2%).

Результаты токсикологических, микробиологических и радиологических исследований подтвердили соответствие разработанного продукта требованиям ТР ТС 033/2013 и ТР ТС 021/2011.

Научная значимость работы заключается в выявлении закономерности: увеличение доли коровьего молока на каждые 20% приводит к повышению влагоудерживающей способности творожного сгустка в среднем на 4-5% (R^2=0.94), что позволяет прогнозировать структурные свойства комбинированных продуктов.

Таким образом, комбинирование верблюжьего и коровьего молока является технологически обоснованным способом получения безопасно-

го творожного продукта с повышенной пищевой ценностью и улучшенными структурными характеристиками по сравнению с продуктом из чистого верблюжьего молока.

Практической значимостью исследования является рекомендация соотношения верблюжьего и кобыльего молока 60:40 для производства творожного продукта с пониженным содержанием к-казеина в сырье.

Литература

1. Abdel-Wahab R.F., Hussein M.K., Khalifa M.I., Zakaria A.M. Quality assessment of physicochemical properties and microbial safety of market raw camel milk sold in Aswan Governorate, Egypt // Egyptian Journal of Veterinary Sciences. -2025. -P.1-9 DOI 10.21608/ejvs.2025.335403.2497.

2. Nadtochii L., Orazov A., Ryskaliyeva B., Sarmalayev A., Tazhiyeva N. Assessment of quality and safety of camel milk and its processed products // Science and Education. -2025. - Vol.3(1):78. -P.141-147. DOI 10.52578/2305-9397-2025-1-3-141-147.

3. Osaili T.M., Dhanasekaran D.K., Hasan F., Obaid R.S., et al. Changes in microbial safety and quality of high-pressure processed camel milk // Foods. -2025. -Vol.14(2): 320 DOI 10.3390/foods14020320.

4. Yang H., Er D., Liu Y., Ling H., Ge R. Risk prevention and quality control in camel milk collection: insights from field research // Foods. -2025. -Vol.14(7): 1090 DOI 10.3390/foods14071090.

5. Габрильянц Э.А., Алибеков Р.С., Орымбетова Г.Э. Исследование качественных характеристик сыра из верблюжьего молока // Известия НАН РК. Серия химических наук. -2023. -Т.4 (457). -С.69-78. DOI 10.32014/2023.2518-1491.193.

6. Турлыбекова Г.Е., Ханжаров Н.С., Тошболтаева Н.Н. Анализ минерального состава творога и сыворотки из шубата //Вестник науки Южного Казахстана. - 2025. - № 4(32). - С.111-117.

7. ГОСТ 30711-2001. Продукты пищевые. Методы выявления и определения содержания афлатоксинов В1 и М1. /Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск. -2001.

8. ГОСТ 9225-84. Молоко и молочные продукты. Методы микробиологического анализа/ Москва. Стандартинформ. -2009.

9. ГОСТ 30347-2016. Молоко и молочная продукция. Методы определения Staphyococcus aureus/ Москва. Стандартинформ. -2016.

10. ГОСТ 31659-2012 (ISO 6579:2002). Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Salmonella* / Москва. Стандартинформ. -2014.

11. ГОСТ 10444.12-2013. Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчёта количества дрожжей и плесневых грибов/ Москва. Стандартинформ. -2014.

12. ГОСТ 23327-98. Молоко и молочные продукты. Метод определения массовой доли общего азота по Кьельдалю м определение массовой доли белка/ Москва. Стандартинформ. -2009.

13. ГОСТ 5867-2023. Молоко и продукты переработки молока. Методы определения жира/ Москва. Российский институт стандартизации. -2024.

14. ГОСТ Р 54761-2011. Молоко и молочная продукция. Методы определения массовой доли сухого обезжиренного молочного остатка/ Москва. Стандартинформ. -2024.

15. Шишкина И.Ю., Гиноян Р.В., Кислюнина Ю.А., Власов А.Е., Самарина Д.Д. Оценка качества молочного сырья при производстве творога // Вестник Нижегородского государственного агротехнологического университета. -2024. -№ 4(44). -С.104-110.

16. Кадралиева Б.Т., Косилов В.И. Оценка безопасности и технологические свойства молока при производстве творога // Наука и образование. -2022. -Т.1(2):67. -С.14-22. DOI 10.52578/2305-9397-2022-2-1-14-22.

17. Шайкенова К.Х., Омарова Қ.М., Джетписбаева Б.Ш. Исследование молока и молочной продукции молочно-товарной фермы ТОО «Камышенка» // Механика и технологии. -2021. -№1(71). -С.7-12. DOI 10.55956/JOJB3792.

18. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции» (ТР ТС 033/2013). -Принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 9 октября 2013. -№ 67. URL: https://62.fsvps.gov.ru. -Дата обращения: 16.02.2026.

19. Юнусходжаева Х.Ш., Максумова Д.К., Додаев К.О. Анализ качества верблюжьего молока: физико-химические, микробиологические и токсикологические показатели // Universum: технические науки. -2025. –Т.8(137). -С.32-36. DOI 10.32743/UniTech.2025.137.8.20692.

20. Бейсембекова Г.К., Нармуратова, М., Канаят, Ш. Жирнокислотный состав и свойства масла верблюжьего молока // Микробиология и вирусология. -2023. -№2(41). -С.26-39. DOI 10.53729/MV-AS.2023.02.02.

21. Жумабай А.Н., Серикбаева А.Д., Мырзабек К.А., Мусульманова М.М. Микробиологический анализ сырого верблюжьего молока, сухого верблюжьего молока и шубата с фермы в Алматинской области // Микробиология и вирусология. -2023. -Т.2(41). DOI 10.53729/MV-AS.2023.02.10.

22. Bhateshwar V., Rai D.C., Muwal H., Nehra H.L., Jat M. Camel milk: the natural gift for medicinal uses for humans - a review // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. -2021. -Vol.10 (2). -P.2397-2407. DOI 10.20546/ijcmas.2021.1002.285.

23. Aman I.M., Al-Hawary I.I., Elewa S.M., El-Kassas W.M., El-Magd M.A. Microbiological evaluation of some Egyptian fermented dairy products // Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society. -2021. -Vol. 72(2). -P.2889-2896. DOI 10.12681/jhvms.27528.

24. Кудайбергенова А.К., Ахметсадыкова Ш.Н., Бегдильдаева Н.Ж., Ахметсадыков Н.Н. Анализ микрофлоры и функциональных пробиотических свойств верблюжьего молока и продуктов на его основе // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. -2020. -№5. -С.26-30. DOI 10.37882/2223-2966.2020.05.23

25. Akishev Z., Kiribayeva A., Mussakhmetov A., Baltin K., Ramankulov Ye., Khassenov B. Constitutive expression of Camelus bactrianus prochymosin B in Pichia pastoris // Heliyon. -2021. -Vol.7(5): e07137. DOI10.1016/j.heliyon.2021.e07137.

References

1. Abdel-Wahab R.F., Hussein M.K., Khalifa M.I., Zakaria A.M. Quality assessment of physicochemical properties and microbial safety of market raw camel milk sold in Aswan Governorate, Egypt // Egyptian Journal of Veterinary Sciences. -2025. -P.1-9 DOI 10.21608/ejvs.2025.335403.2497.

2. Nadtochii L., Orazov A., Ryskaliyeva B., Sarmalayev A., Tazhiyeva N. Assessment of quality and safety of camel milk and its processed products // Science and Education. -2025. - Vol.3(1):78. -P.141-147. DOI 10.52578/2305-9397-2025-1-3-141-147.

3. Osaili T.M., Dhanasekaran D.K., Hasan F., Obaid R.S., et al. Changes in microbial safety and quality of high-pressure processed camel milk // Foods. -2025. -Vol.14(2): 320 DOI 10.3390/foods14020320.

4. Yang H., Er D., Liu Y., Ling H., Ge R. Risk prevention and quality control in camel milk collection: insights from field research // Foods. -2025. -Vol.14(7): 1090 DOI 10.3390/foods14071090.

5. Gabril’ janc Je.A., Alibekov R.S., Orymbetova G.Je. Issledovanie kachestvennyh harakteristik syra iz verbljuzh’ ego moloka // Izvestija NAN RK. Serija himicheskih nauk. -2023. -T.4 (457). -C.69-78. DOI 10.32014/2023.2518-1491.193. [in Russian]

6. Turlybekova G.E., Hanzharov N.S., Toshboltaeva N.N. Analiz mineral’ nogo sostava tvoroga i syvorotki iz shubata //Vestnik nauki Juzhnogo Kazahstana. - 2025. - № 4(32). - S.111-117. [in Russian]

7. GOST 30711-2001. Produkty pishhevye. Metody vyjavlenija i opredelenija soderzhanija aflatoksinov B1 i M1. /Mezhgosudarstvennyj sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii. Minsk. -2001. [in Russian]

8. GOST 9225-84. Moloko i molochnye produkty. Metody mikrobiologicheskogo analiza/ Moskva. Standartinform. -2009. [in Russian]

9. GOST 30347-2016. Moloko i molochnaja produkcija. Metody opredelenija Staphyococcus aureus/ Moskva. Standartinform. -2016. [in Russian]

10. GOST 31659-2012 (ISO 6579:2002). Produkty pishhevye. Metod vyjavlenija bakterij roda Salmonella / Moskva. Standartinform. -2014.

11. GOST 10444.12-2013. Mikrobiologija pishhevyh produktov i kormov dlja zhivotnyh. Metody vyjavlenija i podschjota kolichestva drozhzhej i plesnevyh gribov/ Moskva. Standartinform. -2014. [in Russian]

12. GOST 23327-98. Moloko i molochnye produkty. Metod opredelenija massovoj doli obshhego azota po K’ el’ dalju m opredelenie massovoj doli belka/ Moskva. Standartinform. -2009. [in Russian]

13. GOST 5867-2023. Moloko i produkty pererabotki moloka. Metody opredelenija zhira/ Moskva. Rossijskij institut standartizacii. -2024. [in Russian]

14. GOST R 54761-2011. Moloko i molochnaja produkcija. Metody opredelenija massovoj doli suhogo obezzhirennogo molochnogo ostatka/ Moskva. Standartinform. -2024. [in Russian]

15. Shishkina I.Ju., Ginojan R.V., Kisljunina Ju.A., Vlasov A.E., Samarina D.D. Ocenka kachestva molochnogo syr’ ja pri proizvodstve tvoroga // Vestnik Nizhegorodskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta. -2024. -№ 4(44). -S.104-110. [in Russian]

16. Kadralieva B.T., Kosilov V.I. Ocenka bezopasnosti i tehnologicheskie svojstva moloka pri proizvodstve tvoroga // Nauka i obrazovanie. -2022. -T.1(2):67. -C.14-22. DOI 10.52578/2305-9397-2022-2-1-14-22. [in Russian]

17. Shajkenova K.H., Omarova Ķ.M., Dzhetpisbaeva B.Sh. Issledovanie moloka i molochnoj produkcii molochno-tovarnoj fermy TOO «Kamyshenka» // Mehanika i tehnologii. -2021. -№1(71). -S.7-12. DOI 10.55956/JOJB3792. [in Russian]

18. Tehnicheskij reglament Tamozhennogo sojuza «O bezopasnosti moloka i molochnoj produkcii» (TR TS 033/2013). -Prinjat Resheniem Soveta Evrazijskoj jekonomicheskoj komissii ot 9 oktjabrja 2013. -№ 67. URL: https://62.fsvps.gov.ru. -Data obrashhenija: 16.02.2026. [in Russian]

19. Junushodzhaeva H.Sh., Maksumova D.K., Dodaev K.O. Analiz kachestva verbljuzh’ ego moloka: fiziko-himicheskie, mikrobiologicheskie i toksikologicheskie pokazateli // Universum: tehnicheskie nauki. -2025. –T.8(137). -S.32-36. DOI 10.32743/UniTech.2025.137.8.20692. [in Russian]

20. Bejsembekova G.K., Narmuratova, M., Kanajat, Sh. Zhirnokislotnyj sostav i svojstva masla verbljuzh’ ego moloka // Mikrobiologija i virusologija. -2023. -№2(41). -S.26-39. DOI 10.53729/MV-AS.2023.02.02. [in Russian]

21. Zhumabaj A.N., Serikbaeva A.D., Myrzabek K.A., Musul’ manova M.M. Mikrobiologicheskij analiz syrogo verbljuzh’ ego moloka, suhogo verbljuzh’ ego moloka i shubata s fermy v Almatinskoj oblasti //

Mikrobiologija i virusologija. -2023. [in Russian]

22. Bhateshwar V., Rai D.C., Muwal H., Nehra H.L., Jat M. Camel milk: the natural gift for medicinal uses for humans - a review // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. -2021. -Vol.10 (2). -P.2397-2407. DOI 10.20546/ijcmas.2021.1002.285.

23. Aman I.M., Al-Hawary I.I., Elewa S.M., El-Kassas W.M., El-Magd M.A. Microbiological evaluation of some Egyptian fermented dairy products // Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society. -2021. -Vol.72(2). -P.2889-2896. DOI 10.12681/jhvms.27528.

24. Kudajbergenova A.K., Ahmetsadykova Sh.N., Begdil' daeva N.Zh., Ahmetsadykov N.N. Analiz mikroflory i funkcional' nyh probioticheskih svojstv verbljuzh' ego moloka i produktov na ego osnove // Sovremennaja nauka: aktual' nye problemy teorii i praktiki. Serija: Estestvennye i tehnicheskie nauki. -2020. -№5. -S.26-30. DOI 10.37882/2223-2966.2020.05.23. [in Russian]

25. Akishev Z., Kiribayeva A., Mussakhmetov A., Baltin K., Ramankulov Ye., Khassenov B. Constitutive expression of Camelus bactrianus prochymosin B in Pichia pastoris // Heliyon. -2021. -Vol.7(5): e07137. DOI10.1016/j.heliyon.2021.e07137.

Сведения об авторах

Турлыбекова Г. Е.- докторант, Южно-Казахстанский университет им. М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан, e-mail: gulzatturlybekova@mail.ru;

Ханжаров Н.С.- кандидат технических наук, Южно-Казахстанский университет им. М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан,e-mail: khanzharov_n@mail.ru;

Сучкова Е.П. - кандидат технических наук, доцент, ФГАОУВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», Санкт-Петербург, Россия, e-mail: silena07@bk.ru;

Ташболтаева Н. Н. - магистр, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан, e-mail: Nurgalikyzy94@gmail.com;

Абдиманап У. Б. - магистр, Южно-Казахстанский университет им.М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан, e-mail: abdimanap_u@mail.ru.

Information about the authors

Turlybekova G. E. - Doctoral student, M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: gulzatturlybekova@mail.ru;

Khanzharov N. S. - candidate of Technical Sciences, Associate Professor M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: khanzharov_n@mail.ru;

Suchkova E. P. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, «ITMO National Research University» FSAEIHE, Saint Petersburg, Russia, e-mail: silena07@bk.ru;

Tashboltayeva N. N. - Master' s degree, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: Nurgalikyzy94@gmail.com..

Abdimanap U. B. - Master' s degree, , M. Auezov South Kazakhstan University, Faculty of Mechanics and Oil and Gas Engineering, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: abdimanap_u@mail.ru.

ҒТАМР 65.63.35 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1604**

CO_2-ЭКСТРАКТАРЫН АЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЖАНТАҚТЫҢ КОМПОНЕНТТІК ҚҰРАМЫН ЗЕРТТЕУ

[1]М.М. Куйколакова✉, [2]И.Ю. Сергеева, [1]Г.И. Байгазиева, [3]Э.Б. Аскарбеков, [1]А.К. Кекибаева

[1]Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]Кемерово мемлекеттік университеті, Кемерово, Ресей,
[3]Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан

✉ *Корреспондент-автор: realmadina@mail.ru*

Мақалада жантақ өсімдік шикізатынан экстракттар алу технологиясын зерттеу нәтижелері қарастырылған. Зерттеу барысында аса критикалық CO_2-экстракция әдісі қолданылып, этанол қосалқы еріткіш ретінде пайдаланылды. Сонымен қатар алынған экстракттардың компоненттік құрамы талданды. Зерттеудің өзектілігі өсімдік шикізатын өңдеудің экологиялық қауіпсіз және селективті технологияларын қолдану қажеттілігімен негізделеді. Жұмыстың мақсаты – аса критикалық CO2 экстракция процесінің жантақ өсімдігі үшін оңтайлы параметрлерін анықтау.

Экстракция процесі 10 МПа қысымда және 35°С температурада жүргізілді, ал қосымша еріткіш ретінде 96% этил спирті пайдаланылды. Алынған экстракттарды фракцияларға бөлу үш сепараторда жүзеге асырылып, олардың жұмыс қысымдары тиісінше 7, 6 және 4 МПа деңгейінде ұсталды. Экстракттардың компоненттік құрамы газды хроматография-масс-спектрометрия әдісі арқылы анықталды. Жүргізілген тәжірибелер нәтижесінде экстракттың жиынтық шығымы абсолютті құрғақ затқа шаққанда 9,31 г/100 г болды. Ал алынған нәтижелер аса критикалық CO_2-экстракция әдісінің өсімдік шикізатынан биологиялық белсенді қосылыстарды тиімді бөліп алуға мүмкіндік беретінін көрсетті.

Түйін сөздер: аса критикалық CO_2-экстракция, жантақ, химиялық технология, компоненттік құрам, газды хроматография–масс-спектрометрия, экстракттарды фракциялау, биологиялық белсенді заттар.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ CO_2-ЭКСТРАКТОВ ВЕРБЛЮЖЬЕЙ КОЛЮЧКИ И АНАЛИЗ ИХ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА

[1]М.М. Куйколакова✉, [2]И.Ю. Сергеева, [1]Г.И. Байгазиева, [3]Э.Б. Аскарбеков, [1]А.К. Кекибаева

[1]Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан,
[2]Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия,
[3]Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан,
e-mail: realmadina@mail.ru

В статье представлены результаты исследования технологии получения экстрактов из растительного сырья верблюжьей колючки. В ходе работы применялся метод сверхкритической CO_2-экстракции с использованием этанола в качестве сорастворителя. Также был проведён анализ компонентного состава полученных экстрактов. Актуальность исследования обусловлена необходимостью внедрения экологически безопасных и селективных технологий переработки растительного сырья. Целью работы является определение эффективных параметров сверхкритической CO_2-экстракции верблюжьей колючки и изучение химического состава полученных экстрактов.

Процесс экстракции проводился при давлении 10 МПа и температуре 35 °С, при этом в качестве дополнительного растворителя использовался 96% этиловый спирт. Фракционирование полученных экстрактов осуществлялось в трёх сепараторах при давлениях 7, 6 и 4 МПа соответственно. Компонентный состав экстрактов определяли методом газовой хроматографии-масс-спектрометрии. В результате проведённых экспериментов установлено, что суммарный выход экстракта составил 9,31 г/100 г в пересчёте на абсолютно сухое вещество. Полученные данные свидетельствуют о

высокой эффективности метода сверхкритической CO_2-экстракции для извлечения биологически активных соединений из растительного сырья.

Ключевые слова: сверхкритическая CO_2-экстракция, верблюжья колючка, химическая технология, компонентный состав, газовая хромато-масс-спектрометрия, фракционирование экстрактов, биологические активные вещества.

DEVELOPMENT OF CO_2 EXTRACTION TECHNOLOGY FOR CAMELTHORN AND ANALYSIS OF ITS CHEMICAL COMPOSITION

[1]M.M. Kuikolakova✉, [2]I.Yu. Sergeeva, [1]G.I. Baigaziyeva, [3]E.B. Askarbekov, [1]A.K. Kekibaeva

[1]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan,
[2]Kemerovo State University, Kemerovo, Russia,
[3]K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
e-mail: realmadina@mail.ru

The article presents the results of studying a technology for obtaining extracts from camelthorn plant raw material. The study employed the supercritical CO_2 extraction method using ethanol as a co-solvent. In addition, the component composition of the obtained extracts was analyzed. The relevance of the research is associated with the need to introduce environmentally friendly and selective technologies for processing plant raw materials. The aim of the study was to determine effective parameters of supercritical CO_2 extraction of camelthorn and to investigate the chemical composition of the obtained extracts.

The extraction process was carried out at a pressure of 10 MPa and a temperature of 35 °C, while 96% ethanol was used as an additional solvent. Fractionation of the obtained extracts was performed in three separators operating at pressures of 7, 6, and 4 MPa, respectively. The component composition of the extracts was determined using gas chromatography–mass spectrometry. The experimental results showed that the total extract yield reached 9.31 g/100 g calculated on an absolutely dry basis. The obtained results confirm the high efficiency of the supercritical CO_2 extraction method for isolating biologically active compounds from plant raw materials.

Keywords: supercritical CO_2 extraction, camelthorn, chemical technology, component composition, GC-MS, extract fractionation, biologically active compounds.

Кіріспе. Өсімдік шшикізатында биологиялық белсенді заттар көп. Оған осы уақытқа дейін жүргізілген көптеген зерттеулер дәлел бола алады. Сол заттарды экологиялық қауіпсіз әдістермен бөліп алу өзекті мәселе болып отыр. Бірінші ден, олар пайдалы болса, екіншіден, адам ағзасына ешқандай кері әсер тигізбеуі қажет. Экологиялық қауіпсіз әдіспен бөлуге мүмкіндік беретін аса критикалық CO2 экстракция әдісі болып тұр. Зерттеулер бойынша, CO2 экстракция әдісі медицинада қолданылғаны белгілі. Бұл технология органикалық еріткіштерді қолдануды азайтып, жоғары сападағы экстрактты алуға мүмкіндік береді [1].

Алынған экстракттың компоненттік құрамын анықтаудың ең тиімді тәсілдерінің бірі - газды хроматография-масс-спекторметрия (ГХ-МС). Экстрактты бөлу кезінде көп компонеттер қалыптасады. Солардың бәрін сәйкестендіруге ГХ-МС әдісі мүмкіндік береді [2].

Зерттеу объектісі ретінде алынған жантақтың құрамында терпендер, май қышқылдары, фитостеролдар сияқты белсенді қоспалар бар. Олар фармацевтика және алкогольсіз сусын дайындау өндірісінде өте маңызды рөл атқарады [3].

Зерттеу нысаны – жантақ. Зерттеу пәні – аса критикалық CO_2 экстракция процесі және жантақтан алынған экстракттың компоненттік құрамы.

Зерттеу мақсаты – аса критикалық CO_2 экстракция процесінің жантақ өсімдігі үшін оңтайлы параметрлерін анықтау.

Зерттеу міндеттері:

- аса критикалық CO_2 экстракция процесінің параметрлерін таңдау;

- сепараторлардағы экстракт шығымын анықтау;

- жантақ экстрактысының компоненттік құрамын ГХ-МС әдісімен жүйелеу.

Ғылыми жаңалығы - аса критикалық CO_2 эсктракция процесін алкогольсіз сусын өндірісінде қолдану. Фракциялау параметрлерінің жантақ құрамына әсерін бағалау.

Тәжірибелік маңыздылығы - алынған экстракттарды алкогольсіз сусын өндірісінде пайдалану мүмкіндігі анықталады.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу объектісі ретінде кептірілген жаңтақ өсімдігі алынды. Жантақтағы ылғалдың массалық үлесі 9,08%. Құрамындағы биологиялық белсенді заттар химия және алкогольсіз сусын өндірісінде маңызды болғандықтан, зерттеу объектісі ретінде жантақ таңдалды. Зерттеу жүргізу үшін алынған жаңтақтың массасы 0,6 кг болды. Бұл мөлшер экстракт алып, анализдер жүргізу үшін жеткілікті.

Жантақтан биологиялық белсенді қоспаларды экстракциялау үшін аса критикалық CO_2 әдісі пайдаланылды. Экстрагент ретінде көмірқышқыл газы қолданылды. Ол аса критикалық күйде өзінің физика-химиялық қасиеттерінің арқасында жоғары диффузиялық қасиетке ие және реттелетін еріту қабілеті бар [4, 5]. Бұл төмен температурада әлсіз полярлы қосылыстарды бөліп алуға және термиялық деградациясын барынша азайтуға мүмкіндік береді.

Экстракция процесі 10МПа қысымда және 35 температурада жүргізілді. Экстракт құрамындағы монотерпендер мен сесквитерпендер жоғары температураға өте сезімтал болып келеді. Таңдалған параметрлер сезімтал қосылыстарды сақтауға және изомерленуін болдырмауға ең оңтайлы. Көмірқышқыл газының шығыны 2,1-2,3 л/мин аралығында ұсталып тұрды, бұл процестің тұрақтылығын қамтамасыз етті.

Экстракция арқылы алынатын қосылыстардың құрамын кеңейту мақсатында қосымша еріткіш ретінде 150 мл 96% этил спирті қолданылды. Этанолды қолдану өсімдік шикізатынан, құрамында оттегі бар терпеноидтардың, май қышқылдарының, эфирлердің тиімді бөлінуін қамтамасыз етеді [6]. Бұл тәсіл өсімдік шикізатымен жұмыс істеу кезінде аса критикалық экстракция процесінде кеңінен қолданылады. Жұмыстың мақсатына және зерттеу объектісіне байланысты спирттің концентрациясы әр түрлі болуы мүмкін.

Экстрактты фракциялау бір-бірімен жүйелі жалғанған үш сепараторда 7, 6 және 4МПа қысымда жүргізілді. Қысымның төмендеуі кезінде CO_2-нің еріту қабілеті өзгереді. Бұл молекулалық массасы мен ұшқыштығы әртүрлі қосылыстардың біртіндеп тұтынуына алып келеді. Бұл технология экстрактты химиялық құрамы бойынша фракцияларға бөлуге және соңғы шыққан өнімнің сапасын басқаруға мүмкіндік береді.

Алынған экстракттың компоненттік құрамы газды хроматография-масс-спектрометрия (ГХ-МС) әдісімен зерттелді. Экстракт шығымы абсолютті құрғақ затқа есептеліп, г/100г түрінде көрсетілді. Құрамын талдау GCMS-QP2010 Ultra және GCMS-QP2010 SE аспаптарында іске асты (1-сурет).

Сызбада экстракция процесінің параметрлері, қондырғының негізгі бөліктері, соның ішінде экстракциялау колонналары (К-1, К-2, К-3), сепараторлар (С-1, С-2, С-3), жоғарғы қысымды сорғы, салқындатқыш және көмірқышқыл газын беру желілері көрсетілген.

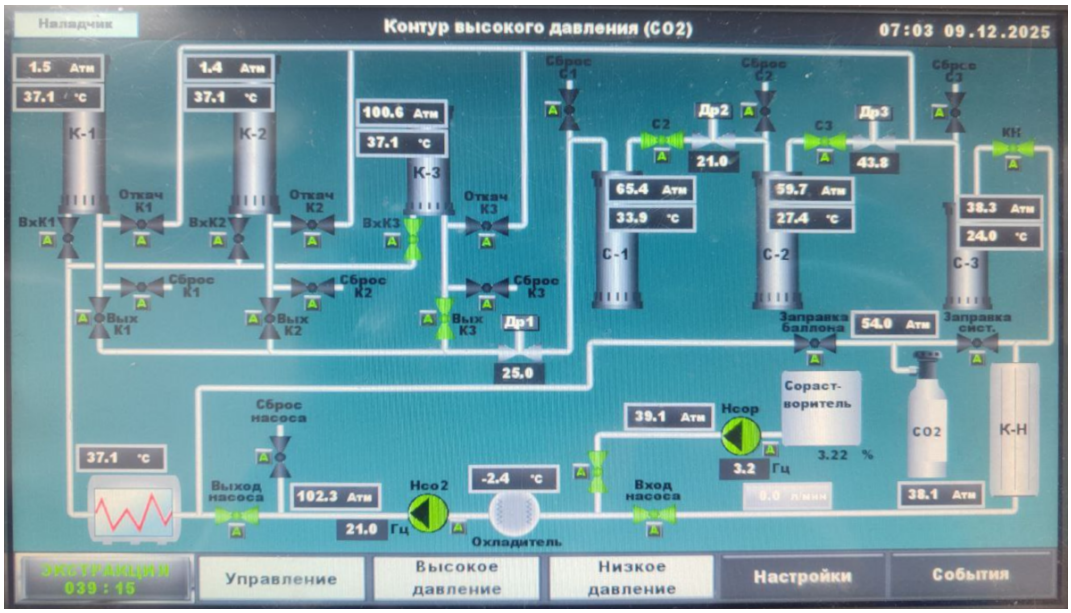
Нақты уақыт режимінде процестің негізгі параметрлерін, яғни, қысым (атм.), температура, CO_2 шығыны, сонымен қатар, жапқыш пен реттеуіш арматураның күйін бақылауға болады (1-кесте). Экстракциялау коланналары көмірқышқыл газының аса критикалық күйіне сәйкес келетін 100 атм қысымда және 37 температурада жұмыс жасайды.

Сызбада сонымен қатар CO_2 салқындату және сығымдау жүйесінің элементтері көрсетілген. Ол экстрагенттің тұйық циркуляциясын қамтамасыз етеді. Параметрлерді тіркеу жүйесінің блогы процестің тұрақтылығын бақылауға мүмкіндік береді. Ұсынылған интерфейс CO_2

процесін автоматты түрде жүргізуге болатынын және нақты, қажетті технологиялық режимдерді реттеуге мүмкіндік беретінін дәлелдейді.

1-кесте. Экстракциялау процесінің параметрлері

Экстракция қысымы/колоннадағы температура	1-сепаратор	2-сепаратор	3-сепаратор	Газ шығыны, л/мин	Қосымша еріткіш
10 МПа, 35	7 МПа	6 МПа	4 МПа	2,1-2,3	Этил спирті, 96% 150 мл



1-сурет. Аса критикалық CO_2-экстракциялық қондырғының жоғары қысымды контурын басқару жүйесінің интерфейс экраны

Экстракт компонеттерін сәйкестендіру масс-спектрлерді әдеби деректермен салыстыру және ұсталу уақытын талдау негізінде іске асты. Осы технология экстракттардың жеке компоненттерін нақты анықтауға және олардың мөлшерін білуге мүмкіндік береді.

Нәтижелер және талқылау. CO_2 экстракциялау процесі арқылы алынған жантақ экстрактысының жалпы шығымы құрғақ затқа шаққанда 9,30г/100г болды. Экстракт шығымының сепараторларды қалыптасуын 2-кестеден көруге болады.

Қысымы 7Мпа болатын сепараторда ең көп мөлшерде экстракт алдынды (6,20г/100г). Бұл сепаратордағы ұсталардың ұшқыштығы төмен болып келеді. Екінші және үшінші сепараторда экстракт шығымы төменірек. Яғни, бұл сепараторларда жеңіл және ұшқыш қосылыстар көп.

Тәжірибе нәтижесінен көпсатылы фракциялау әдісінің тиімді екенін көруге болады. Осы технологияны қолдана отырып, экстракт құрамындағы заттарды олардың физика-химиялық қасиеттеріне байланысты фракцияларға бөлуге болады. Газды хроматография-масс спектрометрия (ГХ-МС) әдісі арқылы жантақ экстрактысының құрамында 170-тен аса жеке компонент бар екені анықталды. Экстракт құрамында монотерпендер, сесквитерпендер, оттегі құрамды терпеноидтар, май қышқылдары мен олардың эфирлері, фитостеролдар кездеседі [7, 8].

2-кесте. Абсолютті құрғақ затқа шаққандағы экстракт шығымы, г/100 г

Көрсеткіш	1-сепаратор	2-сепаратор	3-сепаратор	Жалпы шығым
Экстракт шығымы, г/100 г	6,20	0,90	2,21	9,31

Негізгі анықталған компоненттер қатарында көп мөлшерде лимонен, линалоол, карвон бар екен. Бұл қосылыстардың көп мөлшерде болуы аса критикалық CO_2 экстракция процесінің параметрлерінің дұрпыс таңдалғанын көрсетеді. Этил спиртін де қосымша еріткіш ретінде пайдалану осы заттардың тиімді бөлінуіне алып келді. Әдеби деректерді терпендік қосылыстардың антиоксиданттық және антимикробтық қасиетке ие екені айтылады. Бұл алынған экстракттың биологиялық және фнкционалдық құндылығын арттыратыны сөзсіз.

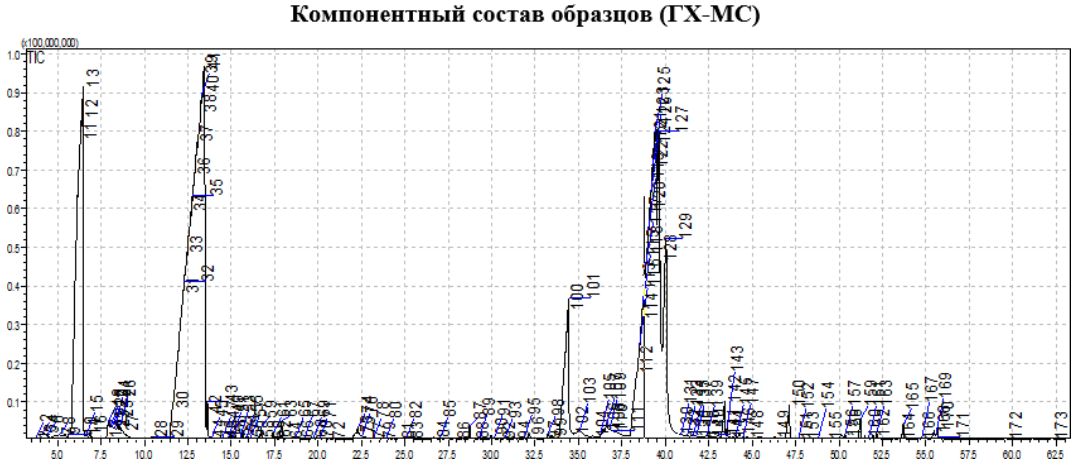
Экстракт құрамының тағы бір көп мөлшерін май қышқылдары мен эфирлері құрайды. Соның ішінде ең негізгілері линол және олеин қышқылдары болып келеді. Бұл компоненттер технологиялық тұрғыдан өте маңызды. Олар экстракттың липидтік құрылымын қалыптастыруға қатысады және басқа биологиялық белсенді заттардың ерігіштігін арттырады. Сонымен қатар, май қышқылдары антиоксиданттық қасиеттің қалыптасуына және экстракт тұрақтылығының жоғары болуына септігін тигізеді.

Зерттеу кезінде экстракт құрамында фитостеролдар да кездесті. Ол жантақ экстрактысының перспективалы екенін көрсетеді. Себебі, фитостеролдар да антиоксиданттық қасиетке ие және сол үшін тағам және фармацевтика өндірісінде кеңінен қолданылады [9, 10].

2 және 3-суреттерде жантақтың CO_2 экстракттарының хроматограммалары көрсетілген. Хроматограммада әртүрлі ұсталу уақытына қарай шыңдар байқалады. Ол экстракт құрамының күрделі және көп компонентті екенін дәлелдейді. Екі үлгіде де ең биік шыңдар 10-15 минут және 38-42 минуттарға сәйкес келіп тұр. Яғни, осы интервалдарда ең көп компонент орналасқан.

2-суретте көрсетілген бірінші үлгінің хроматограммасында ең жоғары шыңдар ерте және орташа ұсталу уақытында тіркелген. Бұл осы интервалда ұшқыш және орташа молекулалық массасы бар қосылыстардың орналасқанын көрсетеді. Сонымен қатар, 35 минуттан кейін байқалатын шыңдар жоғары молекулалық массасы бар қосылыстардың шоғырлануын айқындайды. Оған май қышқылдары мен фитостеролдар жатады.

3-суреттегі хроматограммада 38-42 минутта қарқынды шыңдардың айқын көрінуі жоғары молекулалық массасы бар және ұшқыштығы төмен қосылыстарға байланысты.



2-сурет. CO_2-экстракттың хроматограммасы (1-үлгі)

Екі үлгінің хроматограммаларын салыстыру арқылы үлгілердің құрамының ұқсас екенін байқауға болады. Бірақ компоненттердің мөлшерінде айтарлықтай айырмашылық бар. Бұл айырмашылықтар аса критикалық CO_2 экстракция және кейінгі фракциялау параметрлеріне байланысты бөліну дәрежесі өзгеріп отыратынына негізделеді.

Зерттеу нәтижесі аса критикалық CO_2 экстракцияның дәстүрлі әдіспен салыстырғанда біршама артықшылықтарға ие екенін көрсетеді. Сонымен қатар, қосымша еріткішті пайдалануға, компоненттердің шығымын арттыруға, соңғы өнімнің құрамын реттеуге мүмкіндік береді [11, 12].

Экстрактың көп мөлшері бірінші сепараторда бөлінген. Бұл жоғары молекулалық массасы бар және ұшқыштығы төмен өосылыстардың басым екенін көрсетеді. Мұндай құбылыс аса критикалық CO2 процесінің заңдалықтарына сәйкес келеді. Қысымның біртіндеп төмендеуі кезінде әртүрлі фракциялардың кезеңімен бөлінуі іске асырылады [13].

3-кесте. Бірінші үлгідегі жантақтың құрамында анықталған қосылыстар

№ п/п	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно всех компонентов, %	Название
1.	3,635	3,610	3,725	0,00	Гептанал (CAS)
2.	3,760	3,725	3,785	0,00	Бицикло[3,1,0]гекс-2-эн, 2-метил-5-(1-метилэтил)-
3.	4,023	3,785	4,070	0,15	альфа,-Тужен
4.	4,140	4,070	4,155	0,05	Сабинен
5.	4,190	4,155	4,380	0,09	альфа,-Тужен
6.	4,410	4,380	4,575	0,03	2-гептеналь, (е)- (cas)
7.	5,055	4,945	5,080	0,01	Бета,-мирцен
8.	5,095	5,080	5,145	0,00	3-октанон (CAS)
9.	5,423	5,360	5,570	0,02	Бета,-мирцен
10.	5,670	5,570	5,705	0,03	Бензол, 1-метил-2-(1-метилэтил)- (CAS)
11.	6,325	5,705	6,340	10,29	Лимонен
12.	6,385	6,340	6,400	1,96	3-метилен-бицикло[4,3,0]нонан
13.	6,471	6,400	6,750	3,26	3-метилен-бицикло[4,3,0]нонан
14.	6,562	6,545	6,600	0,00	2-октенальный, (Е)-
15.	6,695	6,655	6,750	0,01	бета,-Оцимен
16.	6,886	6,820	6,940	0,02	Гамма,-терпинен
17.	7,796	7,740	7,820	0,01	1,6-октадиен-3-ол, 3,7-диметил-
18.	7,916	7,820	7,955	0,15	1,6-октаден-3-ол, 3,7-диметил-
19.	7,981	7,955	8,010	0,07	Линалул
20.	8,050	8,010	8,085	0,09	1,6-октадиен-3-ол, 3,7-диметил-

21.	8,095	8,085	8,115	0,03	L-linalool
22.	8,143	8,115	8,170	0,06	Линалул
23.	8,209	8,170	8,275	0,11	Линалул
24.	8,303	8,275	8,355	0,08	Линалул
25.	8,452	8,355	8,555	0,24	Цис-4-метокси туян
26.	8,598	8,555	8,700	0,13	Бицикло[2,2,1]гептан-2-один, 1,7,7-триметил-, (1S)-
27.	8,736	8,700	9,230	0,16	Оксид лимонена
28.	10,415	10,365	10,495	0,00	P-Mentha-1(7),8(10)-dien-9-ol
29.	10,520	10,495	10,635	0,00	1,5-гептадиен, 2,5-диметил-3-метилен-
30.	11,609	11,415	11,625	0,34	2-циклогексен-1-один, 2-метил-5-(1-метиленил)-, (S)- (CAS)
31.	12,207	11,625	12,220	5,27	(-)-Карвоне
32.	12,274	12,220	12,290	1,10	2-циклогексен-1-один, 2-метил-5-(1-метиленил)- (CAS)
33.	12,441	12,290	12,465	3,16	Бицикло[3,1,1]гепт-2-эне-2-карбоксальдегид, 6,6-диметил-, (1S)- (CAS)
34.	12,655	12,465	12,685	4,80	Циклогексан, 4-метил-2-метилен-1-(1-метилэтилиден)-
35.	12,757	12,685	12,770	2,10	2-циклогексен-1-один, 2-метил-5-(1-метиленил)- (CAS)
36.	12,866	12,770	12,885	3,06	2-циклогексен-1-один, 2-метил-5-(1-метиленил)- (CAS)
37.	13,046	12,885	13,075	5,59	Бицикло[3,3,0]октан-3-один, 7-этилиден-
38.	13,216	13,075	13,230	5,03	1,6-диметилтрицикло[3,3,1,0e4,6]октан-3-один
39.	13,291	13,230	13,310	2,81	Транс-карвеол
40.	13,335	13,310	13,350	1,43	Бицикло[3,1,0]гекс-3-эн-2-он, 4-метил-1-(1-метилэтил)- (CAS)
41.	13,438	13,350	13,915	5,19	5-гидрокси-1-циклоктен
42.	13,530	13,515	13,560	0,02	2,6-октаден-1-ол, 3,7-диметил-, (e)-
43.	13,624	13,575	13,675	0,12	1-циклогексен-1-карбоксальдегид, 4-(1-метиленил)-
44.	13,750	13,730	13,780	0,00	2-Карен-10-ал
45.	13,885	13,815	13,910	0,00	1-Гептен-3-ол, 1-фенил-
46.	14,410	14,335	14,465	0,01	4A-метил-1,2,3,4,4a,5,6,7-октагидронафталин
47.	14,507	14,465	14,540	0,01	Undecanal

48.	14,555	14,540	14,685	0,00	Циклогексен, 3-(хлорметил)-
49.	14,840	14,685	14,865	0,01	2-гептадеканон, 1-[(2,2-диметил-1,3-диоксолан-4-ил)метокси]-
50.	14,949	14,865	15,015	0,04	2,6-октадиеновая кислота, 3,7-диметил-, метилэфир
51.	15,109	15,015	15,185	0,02	1,2-циклогексанодиол, 1-метил-4-(1-метиленил)-
52.	15,264	15,185	15,380	0,02	2-циклогексен-1-ол, 2-метил-5-(1-метиленил)-, ацетат, цис-
53.	15,505	15,380	15,605	0,01	2-Бутен-1-ол, пропаноат
54.	15,675	15,605	15,780	0,05	3-циклогексен-1-метанол, ,альфа,,,альфа,,4-триметил-, ацетат
55.	15,908	15,780	15,925	0,02	Цис-сескисабинен гидрат
56.	15,980	15,925	16,080	0,02	2-метил-7-оксабицикло [2,2,1]гептан
57.	16,137	16,080	16,285	0,02	4-гептенал
58.	16,589	16,530	16,630	0,01	Пентановая кислота, 2-метил-, ангидрид
59.	16,713	16,630	16,815	0,08	2,6-октаден-1-ол, 3,7-диметил-, ацетат
60.	17,173	17,105	17,240	0,01	Циклогексан, 1-этенил-1-метил-2,4-бис(1-метиленил)-, [1S-(1,альфа,,2,бета,,4,бета,)]-
61.	17,413	17,280	17,460	0,05	Лонгифолен
62.	17,516	17,460	17,615	0,02	Бицикло[7,2,0]undec-4-ene, 4,11,11-триметил-8-метилен-, (z)-(1r,9s)-(-)-
63.	17,895	17,740	17,995	0,15	Bicyclo[7,2,0]undec-4-ene, 4,11,11-триметил-8-метилен-,[1R-(1R*,4Z,9S*)]-
64.	18,176	18,125	18,240	0,00	Бета,-копэйн
65.	18,695	18,625	18,755	0,00	(-)-1,2,2,альфа,,3,3,4,6,7,8,8,альфа,-декагидро-2,альфа,,7,8-триметилаценафттилен
66.	18,830	18,755	18,910	0,01	Гумулен
67.	19,200	19,135	19,285	0,00	Цис-, бета, -фарнезена
68.	19,631	19,520	19,690	0,02	Гермакрен Д
69.	19,745	19,690	19,825	0,01	Бензол, 1-(1,5-диметил-4-гексенил)-4-метил-
70.	19,887	19,825	20,015	0,02	Нонаноновая кислота, 9-оксо-, этиловый эфир
71.	20,105	20,015	20,190	0,01	Торрейол
72.	20,664	20,610	20,775	0,00	бета,-Бисаболен

73.	22,195	21,950	22,220	0,10	1,2-бензендиол, 4-(1,1-диметилэтил)- (CAS)
74.	22,283	22,220	22,330	0,08	Оксид кариофиллена
75.	22,367	22,330	22,490	0,04	2-циклопентен-1-карбонная кислота, 1,2,3-триметил-, этилэфир, (,+-,)- (CAS)
76.	22,539	22,490	22,600	0,01	Salvial-4(14)-в-1-одном
77.	22,982	22,945	23,040	0,00	Оксид гумулена
78.	23,195	23,140	23,265	0,00	Додекановая кислота, этиловый эфир
79.	23,511	23,445	23,590	0,00	Оксиран, додецил-
80.	23,912	23,855	24,010	0,00	1H-бензоциклогептен-7-ол, 2,3,4,4a,5,6,7,8-октагидро-1,1,4a,7-тетраметил-, цис-
81.	24,659	24,600	24,715	0,00	Валериновая кислота, 2-пентадециловый эфир
82.	25,070	25,025	25,100	0,00	2-додесятеналь (cas)
83.	25,143	25,100	25,205	0,01	1h-циклопроп[e]азулен, декагидро-1,1,7-триметил-4-метилен-, [1ar-(1a,alpha, 4a,alpha, 7,alpha, 7a,beta, 7b,alpha)]-
84.	26,649	26,570	26,770	0,02	Ситронеллал
85.	27,019	26,940	27,120	0,01	4,8,13-циклоттрадекатриен-1,3-диол, 1,5,9-триметил-12-(1-метилэтил)- (CAS)
86.	27,841	27,770	27,965	0,01	Z-8-Тетрадецен-1-илацетат
87.	28,727	28,620	28,845	0,09	Тетрадеканоевая кислота, этиловый эфир
88.	28,915	28,845	28,950	0,00	Оксиран, 2,2-диметил-3-(3,7,12,16,20-пентаметил-3,7,11,15,19-хенейкозапентаенил)-, (все-E)-
89.	29,261	29,210	29,315	0,00	Тетрадекан
90.	29,972	29,885	30,095	0,03	2-пентадеканон, 6,10,14-триметил- (CAS)
91.	30,161	30,095	30,225	0,01	Неофитадиен
92.	30,418	30,345	30,485	0,00	Этил E-4-деценоат
93.	30,760	30,665	30,845	0,00	Этил E-4-деценоат
94.	31,306	31,245	31,380	0,01	Пентадекановая кислота, этиловый эфир
95.	31,861	31,800	31,930	0,01	Гептадекан
96.	32,114	32,015	32,305	0,06	Гексадекановая кислота, метилэфир (CAS)
97.	33,046	32,975	33,135	0,01	Z-8-Тетрадецен-1-илацетат
98.	33,229	33,135	33,360	0,06	Этил9-гексадеценоат
99.	33,436	33,360	33,590	0,03	Изомер геранил линалол b

100.	34,372	33,835	34,385	3,23	Гексадекановая кислота, этиловый эфир
101.	34,438	34,385	34,705	1,00	Гексадекановая кислота, этиловый эфир
102.	34,645	34,625	34,690	0,00	Октадекан (CAS)
103.	35,071	34,800	35,375	0,11	Олеиновая кислота
104.	35,779	35,730	35,855	0,00	Этил-9-гексадеценоат
105.	36,269	36,185	36,320	0,02	9,12-октадекадиеновая кислота, метилэфир
106.	36,414	36,320	36,480	0,07	Ситронеллал
107.	36,612	36,480	36,685	0,14	6-октадеценовая кислота, метилэфир (CAS)
108.	36,710	36,685	36,755	0,03	13-докозеновая кислота, метилэфир, (Z)-(CAS)
109.	36,776	36,755	36,845	0,03	11-октадеценовая кислота, метилэфир (CAS)
110.	36,920	36,845	36,955	0,02	6-октадеценовая кислота, метилэфир, (Z)-
111.	36,970	36,955	37,005	0,00	Бутановая кислота, 3,7-диметил-6-октенилэфир (CAS)
112.	38,340	37,920	38,360	1,46	9,12-октадекадиеновая кислота (Z, Z)-
113.	38,505	38,360	38,520	1,30	9,12-октадекадиеновая кислота (Z, Z)-, метилэфир
114.	38,620	38,520	38,640	1,33	9,12-октадекадиеновая кислота (Z,Z)-
115.	38,676	38,640	38,700	0,79	Этиловый эфир линолевой кислоты
116.	38,769	38,700	38,785	1,25	Этиловый эфир линолевой кислоты
117.	38,848	38,785	38,865	1,35	Этиловый эфир линолевой кислоты
118.	38,911	38,865	38,950	1,60	9,12-октадекадиеновая кислота (Z, Z)-, метилэфир
119.	38,994	38,950	39,015	1,35	9,12-октадекадиеновая кислота (Z, Z)-
120.	39,095	39,015	39,110	2,17	Этиловый эфир линолевой кислоты
121.	39,150	39,110	39,170	1,50	Этиловый эфир линолевой кислоты
122.	39,232	39,170	39,260	2,43	Этиловый эфир линолевой кислоты
123.	39,280	39,260	39,295	0,99	Этиловый эфир линолевой кислоты
124.	39,331	39,295	39,355	1,80	Этиловый эфир линолевой кислоты
125.	39,384	39,355	39,410	1,71	Этиловый эфир линолевой кислоты
126.	39,439	39,410	39,485	2,33	9,12-октадекадиеновая кислота (Z, Z)-, метилэфир
127.	39,616	39,485	39,670	5,10	Этилолеат
128.	39,683	39,670	39,790	1,46	Олеиновая кислота
129.	40,024	39,790	41,395	5,14	Этил-9-гексадеценоат

130.	40,664	40,620	40,825	0,01	Z-(13,14-эпоксидка) тетрадек-11-en-1-ol ацетат
131.	40,881	40,830	41,085	0,01	8-гексадеценальный, 14-метил-, (Z)-
132.	41,122	41,085	41,155	0,00	Олеиновая кислота
133.	41,267	41,155	41,360	0,01	Неролидол
134.	41,478	41,405	41,540	0,01	Оксиранооктановая кислота, 3-октил-, цис-
135.	41,590	41,540	41,630	0,01	Гексадекановая кислота, 2-гидрокси-1-(гидроксиметил)этилэфир
136.	41,650	41,630	41,695	0,00	2H-Pyran-2-one, тетрагидро-6-пентил- (CAS)
137.	41,770	41,695	41,835	0,00	10-гептадецен-8-иноевая кислота, метилэфир, (E)- (CAS)
138.	42,147	42,085	42,205	0,01	Изопропиллинолеат
139.	42,377	42,205	42,415	0,02	Октадекан
140.	42,445	42,415	42,510	0,01	Этиловый эфир линолевой кислоты
141.	43,059	42,925	43,155	0,03	9-октадеценовая кислота, 12-гидрокси-
142.	43,414	43,160	43,475	0,48	9,12-октадекадиеновая кислота (Z, Z)-
143.	43,541	43,475	43,615	0,07	Этил9-гексадеценоат
144.	43,660	43,615	43,770	0,01	Cis-9-Гексаценал
145.	44,045	43,915	44,135	0,03	Гексанедионовая кислота, бис(2-этилгексил) эфир (CAS)
146.	44,253	44,135	44,375	0,05	Этил козаноат
147.	44,461	44,410	44,540	0,00	Трицикло [8,6,0,0(2,9)] hexadeca-8,16,голова, хвост-дион, транс-2,9-cisoid-9,10-cis-1,10
148.	44,699	44,615	44,855	0,01	Октакозан
149.	46,279	46,190	46,365	0,01	1H-бензоциклогептен-7-ол, 2,3,4,4a,5,6,7,8-октагидро-1,1,4a,7-тетраметил-, цис- (CAS)
150.	47,138	46,850	47,280	0,46	Ди-н-октилфталат
151.	47,553	47,470	47,605	0,01	8,11-октадекадиеноновая кислота, метилэфир (CAS)
152.	47,659	47,605	47,710	0,00	2-Тридеценовая кислота, (E)-
153.	47,928	47,865	47,995	0,00	9 октября —
154.	48,808	48,730	48,875	0,01	Октадекановая кислота, этиловый эфир
155.	49,253	49,180	49,335	0,01	Гексакозан
156.	50,165	49,960	50,270	0,06	9-октадеценовая кислота (Z)-, 2-гидрокси-1-(гидроксиметил)этилэфир

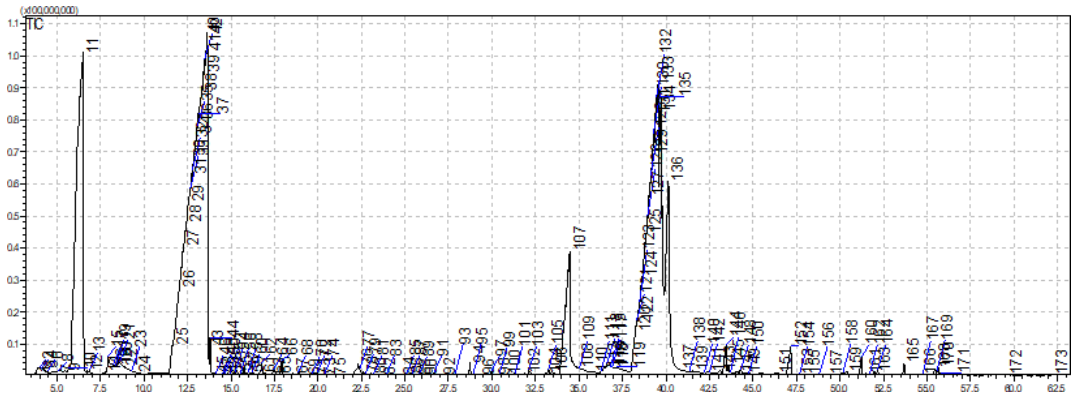
157.	50,335	50,270	50,375	0,03	Гексанедионовая кислота, бис(2-этилгексил) эфир
158.	50,395	50,375	50,530	0,02	Адипиновая кислота, децил-эфир
159.	51,223	51,055	51,300	0,18	Гексанедионовая кислота, бис(2-этилгексил) эфир (CAS)
160.	51,469	51,395	51,555	0,02	Хенейкозане
161.	51,683	51,625	51,760	0,00	1,3-бензолдикарбонная кислота, бис(2-этилгексил) эфир
162.	51,960	51,860	52,055	0,02	2,6-октаден-1-ол, 3,7-диметил-, пропаноат, (E)-
163.	52,152	52,055	52,270	0,05	Бицикло [4,1,0]гептан-3-ол, 4,7,7-триметил-, [1R-(1,альфа„3,альфа„4,альфа„6,альфа,)]-
164.	53,431	53,375	53,500	0,00	9-гексакозен
165.	53,685	53,530	53,790	0,12	2,6,10,14,18,22-тетракозагексаен, 2,6,10,15,19,23-гексаметил- (CAS)
166.	54,596	54,510	54,670	0,01	(1S-(1Alpha,2alpha,4beta))-1-изопропенил-4-метил-1,2-циклогексанодиол
167.	54,754	54,675	54,800	0,00	(1S-(1Alpha,2alpha,4beta))-1-изопропенил-4-метил-1,2-циклогексанодиол
168.	55,473	55,275	55,520	0,10	(E)-3,7-диметилокта-2,6-диенилизобутилкарбонат
169.	55,564	55,520	55,585	0,02	Нерол (CAS)
170.	55,651	55,585	55,720	0,08	1-бромодокозан
171.	55,759	55,720	55,830	0,01	Бицикло [2,2,1] гептан, 2-[9-борабицикло[3,3,1]не-9-илокси]-, 1,7,7-триметил-
172.	59,567	59,490	59,665	0,01	Тетратраконтан
173.	62,215	62,130	62,355	0,01	Гамма,-ситостерол

3 және 4-кестеде жантақтың құрамында анықталған қосылыстар және оның топтары көрсетілген. Мәліметтерге сүйене отырып, экстрактың жоғары биологиялық белсенділікке ие екенін айтуға болады.

4-кесте. Жантақ CO_2-экстрактындағы негізгі қосылыстар топтары және олардың биологиялық-технологиялық маңызы

Қосылыстар тобы	Өкілдері	Маңызы
Монотерпендер	лимонен, линалоол	антиоксиданттық белсенділікке ие
Терпеноидтар	карвон	жоғары биологиялық белсендік

Май қышқылдары	линол, олеин қышқылдары	экстракттың липидтік құрамының қалыптасуына қатысады
Фитостеролдар	γ-ситостерол	жоғары функционалдық құндылыққа ие



3-сурет. CO_2-экстракттың хроматограммасы (3-үлгі)

5-кесте. Бірінші үлгідегі жантақтың құрамында анықталған қосылыстар

№ п/п	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно всех компонентов, %	Название
1.	3,755	3,705	3,790	0,00	альфа,-Фелландрена
2.	3,970	3,790	4,025	0,13	Бицикло[3,1,0]гекс-2-эн, 2-метил-5-(1-метилэтил)-
3.	4,035	4,025	4,090	0,04	Бета-оцимен-х
4.	4,095	4,090	4,125	0,02	6-метилен-3-окса(экзо)трицикло[3,2,1,02̂,4]-октан
5.	4,135	4,125	4,400	0,11	Альфа, фелландрене
6.	4,443	4,400	4,580	0,02	2-Гептин-1-ол
7.	4,990	4,970	5,015	0,00	Бета,-мирцен
8.	5,080	5,025	5,095	0,00	Нерол (CAS)
9.	5,443	5,390	5,565	0,01	Транс-гераниол
10.	5,662	5,565	5,720	0,04	Бензол, 1-метил-4-(1-метилэтил)- (CAS)
11.	6,518	5,720	6,750	15,67	Лимонен
12.	6,701	6,665	6,745	0,01	бета,-Оцимен
13.	6,891	6,755	7,095	0,03	Гамма,-терпинен
14.	7,798	7,740	7,830	0,01	1,6-октаден-3-ол, 3,7-диметил-

15.	7,935	7,830	8,120	0,32	Цис-3-гексенальный диэтилацеталь
16.	8,145	8,120	8,170	0,05	Линалул
17.	8,210	8,170	8,230	0,06	1,6-октаден-3-ол, 3,7-диметил-
18.	8,331	8,230	8,365	0,12	Линалул
19.	8,384	8,365	8,405	0,04	1,6-октаден-3-ол, 3,7-диметил-
20.	8,463	8,405	8,560	0,19	Транс-4-метокси туян
21.	8,609	8,560	8,715	0,17	Бицикло[2,2,1]гептан-2-один, 1,7,7-триметил-, (1S)-
22.	8,748	8,715	9,245	0,31	Оксид лимонена
23.	9,290	9,245	9,405	0,04	2,3-диазатрицикло[4,2,1,0(4,8)]не-2-ене, 7,7,8-триметил-
24.	9,475	9,405	9,725	0,03	1,2,3-пропанетриол (CAS)
25.	11,634	11,425	11,655	0,38	2-циклогексен-1-один, 2-метил-5-(1-метиленил)-, (S)- (CAS)
26.	12,020	11,655	12,035	2,30	2-циклогексен-1-один, 2-метил-5-(1-метиленил)-, (S)- (CAS)
27.	12,275	12,035	12,295	3,05	2-циклогексен-1-один, 2-метил-5-(1-метиленил)- (CAS)
28.	12,411	12,295	12,425	1,97	Карвоне
29.	12,556	12,425	12,570	2,51	2-циклогексен-1-один, 2-метил-5-(1-метиленил)- (CAS)
30.	12,662	12,570	12,670	1,93	Псевдолимонен
31.	12,731	12,670	12,745	1,55	2-циклогексен-1-один, 2-метил-5-(1-метиленил)- (CAS)
32.	12,777	12,745	12,790	0,97	2-циклогексен-1-один, 2-метил-5-(1-метиленил)- (CAS)
33.	12,856	12,790	12,870	1,82	Трицикло[3,3,0,0(2,8)]октан-3-один, 5,8-диметил-
34.	12,994	12,870	13,020	3,69	2(1H)-нафталенон, 3,4,5,6,7,8-гексагидро- (CAS)
35.	13,055	13,020	13,070	1,31	Трицикло[3,3,0,0(2,8)]октан-3-один, 5,8-диметил-
36.	13,096	13,070	13,110	1,08	1,7,7-триметилбицикло[2,2,1]гепт-5-эн-2-один

37.	13,126	13,110	13,155	1,24	Бицикло[3,3,0]октан-3-один, 7-этилиден-
38.	13,299	13,155	13,315	4,67	1,7,7-триметилбицикло[2,2,1]гепт-5-эн-2-один
39.	13,419	13,315	13,430	3,60	Бицикло[4,4,0]dec-5-en-4-one-1-карбоновая кислота
40.	13,472	13,430	13,490	1,97	2-циклогексен-1-ол, 2-метил-5-(1-метиленил)-, цис-
41.	13,545	13,490	13,560	2,35	Спиро[bicyclo[3,3,0]октан-6-на-3-циклопропан]
42.	13,624	13,560	13,745	3,91	Альфа,-оксид пинена
43.	13,705	13,690	13,740	0,02	Гераниол
44.	13,794	13,745	14,050	0,20	1-циклогексен-1-карбоксальдегид, 4-(1-метиленил)-
45.	13,966	13,940	14,045	0,00	Нерол (CAS)
46.	14,127	14,090	14,150	0,00	Уксусная кислота, 1,7,7-триметил-бицикло[2,2,1]гепт-2-ил эфир
47.	14,304	14,260	14,340	0,00	2-ундеканоне (cas)
48.	14,523	14,425	14,565	0,01	Фенол, 2-метил5-(1-метилэтил)-(CAS)
49.	14,603	14,565	14,635	0,01	Андеканаль (CAS)
50.	14,650	14,635	14,775	0,01	2-гексил фуран
51.	14,823	14,775	14,885	0,01	9-гидрокси-линалол
52.	14,935	14,885	14,955	0,00	Бутан, 1,1’-[метиленебис(окси)]бис[3-метил-
53.	15,032	14,955	15,090	0,04	2,6-октадиеновая кислота, 3,7-диметил-, метилэфир
54.	15,205	15,090	15,285	0,03	1,2-циклогексанодиол, 1-метил-4-(1-метиленил)-
55.	15,342	15,285	15,480	0,03	2-циклогексен-1-ол, 2-метил-5-(1-метиленил)-, ацетат
56.	15,530	15,480	15,665	0,01	3-октанон, 4-метил-
57.	15,749	15,665	15,840	0,05	3-циклогексен-1-метанол, ,альфа,,,альфа,,4-триметил-, ацетат
58.	15,955	15,840	15,995	0,02	7-эпи-цис-сесквисабинен гидрат
59.	16,029	15,995	16,125	0,02	2-undecenal, e-
60.	16,204	16,125	16,390	0,03	4-гептенал

61.	16,655	16,585	16,675	0,01	Пентановая кислота, 2-метил-, ангидрид
62.	16,767	16,675	16,880	0,09	2,6-октаден-1-ол, 3,7-диметил-, ацетат
63.	17,228	17,160	17,295	0,01	(-)-,бета,-Элемене
64.	17,461	17,320	17,540	0,06	Джунипене
65.	17,575	17,540	17,710	0,01	Бицикло[7,2,0]undec-4-ene, 4,11,11-триметил-8-метилен-, (z)-(1r,9s)-(-)-
66.	17,939	17,775	18,055	0,14	Кариофиллен
67.	18,519	18,435	18,660	0,01	2(3H)-фуранон, 5-гексилдигидро-
68.	18,859	18,775	19,015	0,03	2,6-октадиен, 1-(1-этоксиэтокси)-3,7-диметил- (CAS)
69.	19,228	19,175	19,310	0,00	Цис-, бета, -фарнезена
70.	19,663	19,550	19,720	0,02	Гермакрен Д
71.	19,770	19,720	19,850	0,01	Бензол, 1-(1,5-диметил-4-гексенил)-4-метил-
72.	19,924	19,850	20,055	0,02	Нонаноновая кислота, 9-оксо-, этиловый эфир
73.	20,152	20,055	20,235	0,01	2-додеканоне
74.	20,364	20,235	20,495	0,01	3,9-эпокситрицикло[4,2,1,1(2,5)]dec-7-en-10-ol, 9,10-диметил-
75.	20,685	20,625	20,800	0,00	бета,-бисаболен (CAS)
76.	22,313	21,975	22,370	0,20	Оксид кариофиллена
77.	22,393	22,370	22,515	0,05	2-циклопентен-1-карбонная кислота, 1,2,3-триметил-, этилэфир, (,+-,)-
78.	22,570	22,515	22,685	0,02	Сальвиал-4(14)-в-1-одном
79.	22,731	22,685	22,805	0,00	Оксид кариофиллена
80.	23,024	22,970	23,100	0,00	Нафталин, декагидро- (CAS)
81.	23,210	23,100	23,275	0,00	Додекановая кислота, этиловый эфир
82.	23,525	23,465	23,585	0,00	9-Октадецен-1-ол, (Z)- (CAS)
83.	23,930	23,885	24,035	0,00	1H-бензоциклогептен-7-ол, 2,3,4,4a,5,6,7,8-октагидро-1,1,4a,7-тетраметил-, цис- (CAS)

84.	24,661	24,565	24,735	0,01	Валериновая кислота, 2-пентадециловый эфир
85.	25,070	25,035	25,115	0,00	2-додеканал
86.	25,161	25,115	25,230	0,01	Эремофилен (CAS)
87.	25,382	25,340	25,465	0,00	3-(4-оксоциклогексил)-пропионовая кислота, этиловый эфир
88.	25,594	25,555	25,655	0,00	2-n-Октилфуран
89.	25,808	25,760	25,900	0,00	Нонан, 1,1-диетокси- (CAS)
90.	25,986	25,940	26,070	0,00	2-гептадеканон
91.	26,665	26,465	26,780	0,03	Ситронеллал
92.	27,026	26,950	27,155	0,01	3,9-диметилтрицикло[4, 2, 1, 1(2,5)]декан-9-ол
93.	27,879	27,765	28,005	0,01	1-Недекацен, 11,11-диетокси-
94.	28,737	28,620	28,860	0,09	Тетрадеканоевая кислота, этиловый эфир
95.	28,915	28,860	28,965	0,00	Цитронелилбутират
96.	29,262	29,220	29,320	0,00	Гептадекан
97.	29,981	29,895	30,105	0,03	2-пентадеканон, 6,10,14-триметил- (CAS)
98.	30,165	30,105	30,235	0,00	Неофитадиен
99.	30,420	30,355	30,495	0,00	Этил E-4-деценоат
100.	30,760	30,700	30,845	0,00	Этил E-4-деценоат
101.	31,309	31,235	31,435	0,01	Пентадекановая кислота, этиловый эфир
102.	31,864	31,795	31,995	0,01	Нонадекан (CAS)
103.	32,115	32,025	32,335	0,06	Ундекановая кислота, 10-метил, метилэфир
104.	33,079	32,980	33,145	0,01	Z-8-Тетрадецен-1-илацетат
105.	33,233	33,145	33,360	0,05	Этил9-гексадеценоат
106.	33,440	33,360	33,645	0,03	1,5,9-декатриен, 2,3,5,8-тетраметил-
107.	34,464	33,835	35,570	4,47	Гексадекановая кислота, этиловый эфир
108.	34,920	34,900	34,970	0,00	Гексадекановая кислота, этиловый эфир (CAS)
109.	35,025	34,970	35,265	0,01	Оксиран, тетрадецил-
110.	35,793	35,740	35,885	0,00	Этил-9-гексадеценоат

111.	36,279	36,200	36,320	0,01	9,12-октадекадиеновая кислота, метилэфир
112.	36,419	36,320	36,480	0,04	9-Деканал, 2,10-диметил-
113.	36,601	36,480	36,670	0,09	6-октадеценовая кислота, метилэфир (CAS)
114.	36,715	36,670	36,780	0,04	(1r,2r,3s,5r)-(-)-2,3-пинандиол
115.	36,800	36,780	36,815	0,01	7-оксабицикло[4,1,0]гептан-2-он, 6-метил-3-(1-метилэтил)- (CAS)
116.	36,865	36,815	36,890	0,02	11-октадеценовая кислота, метилэфир (CAS)
117.	36,905	36,890	36,925	0,00	Метил 3-оксо-5-(1-нитро-2-оксоциклодецил)пентаноат
118.	36,990	36,925	37,005	0,00	Мусколактон
119.	37,115	37,080	37,175	0,00	Серная кислота, октадецил 2-пропиловый эфир
120.	38,226	37,935	38,240	0,58	9,12-октадекадиеновая кислота (Z,Z)-
121.	38,314	38,240	38,335	0,48	Этиловый эфир линолевой кислоты
122.	38,350	38,335	38,365	0,16	Этиловый эфир линолевой кислоты
123.	38,472	38,365	38,495	0,86	9,12-октадекадиеновая кислота (Z,Z)-
124.	38,622	38,495	38,645	1,37	9,12-октадекадиеновая кислота (Z,Z)-
125.	38,850	38,645	38,865	2,82	Этанол, 2-(9,12-октадекадиенилокси)-, (Z,Z)-
126.	38,935	38,865	38,950	1,35	Этиловый эфир линолевой кислоты
127.	39,002	38,950	39,060	2,00	Этиловый эфир линолевой кислоты
128.	39,121	39,060	39,135	1,51	Этиловый эфир линолевой кислоты
129.	39,209	39,135	39,235	2,21	Этиловый эфир линолевой кислоты
130.	39,273	39,235	39,305	1,72	Этиловый эфир линолевой кислоты
131.	39,373	39,305	39,390	2,20	Этиловый эфир линолевой кислоты

132.	39,452	39,390	39,510	3,39	Этиловый эфир линолевой кислоты
133.	39,568	39,510	39,605	2,72	9,12-октадекадиеновая кислота (Z,Z)-, метилэфир
134.	39,680	39,605	39,695	2,31	Этилолеат
135.	39,723	39,695	39,875	3,23	Этилолеат
136.	40,133	39,875	40,895	5,31	Этил9-гексадеценоат
137.	40,748	40,710	40,890	0,00	2,6,6-триметилбицикло[3,1,1]гептан-2-ol
138.	41,339	41,290	41,445	0,01	1,6,10-додекатриен-3-ол, 3,7,11-триметил-, (E)-
139.	41,542	41,480	41,625	0,01	,Бета,-цитронелол, трифтороацетат
140.	42,217	42,155	42,285	0,00	Этиловый эфир линолевой кислоты
141.	42,434	42,285	42,470	0,01	Эйкозане
142.	42,506	42,470	42,580	0,01	Этиловый эфир линолевой кислоты
143.	43,116	42,955	43,215	0,03	Метилэфир рицинолеиновой кислоты
144.	43,479	43,215	43,530	0,47	9,12-октадекадиеновая кислота (Z,Z)-
145.	43,591	43,530	43,675	0,07	Этил9-гексадеценоат
146.	43,705	43,675	43,845	0,01	9,12-октадекадиеновая кислота (Z,Z)-
147.	44,062	43,955	44,185	0,03	Гексанедионовая кислота, бис(2-этилгексил) эфир (CAS)
148.	44,288	44,185	44,420	0,05	Эйкозановая кислота, этиловый эфир
149.	44,502	44,430	44,620	0,01	2-октилциклопропен-1-гептанол
150.	44,762	44,660	44,890	0,01	Жир петуха
151.	46,291	46,205	46,400	0,01	Rac-1,2,4-Триметил-3-нитробицикло[3,3,1], нонан-9-один
152.	47,173	46,865	47,305	0,45	Ди-н-октилфталат
153.	47,570	47,495	47,630	0,00	8,11-октадекадиеноновая кислота, метилэфир (CAS)
154.	47,678	47,630	47,730	0,00	Декан, 1,1’-оксибис- (CAS)

155.	47,944	47,885	48,040	0,00	9-октадецин
156.	48,821	48,735	48,930	0,01	Октадекановая кислота, этиловый эфир
157.	49,268	49,205	49,345	0,00	Гептакозан (CAS)
158.	50,160	49,980	50,275	0,03	9-октадеценовая кислота (Z)-, 2-гидрокси-1-(гидроксиметил)этилэфир (CAS)
159.	50,384	50,275	50,575	0,05	Гексанедионовая кислота, бис(2-этилгексил) эфир (CAS)
160.	51,250	51,055	51,320	0,19	Гексанедионовая кислота, бис(2-этилгексил) эфир (CAS)
161.	51,473	51,410	51,560	0,01	Гексакозан
162.	51,696	51,635	51,805	0,00	1,3-бензолдикарбонная кислота, бис(2-этилгексил) эфир
163.	51,974	51,875	52,065	0,02	2,6-октаден-1-ол, 3,7-диметил-, пропаноат, (E)-
164.	52,163	52,065	52,275	0,04	Бицикло[4,1,0]гептан-3-ол, 4,7,7-триметил-, (1,альфа,,3,альфа,,4,бета,,6,альфа,)-
165.	53,687	53,545	53,775	0,09	2,6,10,14,18,22-тетракозагексаен, 2,6,10,15,19,23-гексаметил- (CAS)
166.	54,610	54,525	54,690	0,01	(1S-(1Alpha,2alpha,4beta))-1-изопропенил-4-метил-1,2-циклогексанодиол
167.	54,763	54,695	54,825	0,00	(1S-(1Alpha,2alpha,4beta))-1-изопропенил-4-метил-1,2-циклогексанодиол
168.	55,478	55,280	55,530	0,09	(E)-3,7-диметилокта-2,6-диенилизобутилкарбонат
169.	55,575	55,530	55,600	0,02	2,6-октаден-1-ол, 3,7-диметил-, ацетат, (Z)-
170.	55,655	55,600	55,725	0,06	1-n-пентадецил-декагидронафтален
171.	55,770	55,725	55,890	0,01	Бицикло[2,2,1]гептан, 2-[9-борабицикло[3,3,1]не-9-илокси]-, 1,7,7-триметил-
172.	59,569	59,510	59,655	0,00	Нонакозане
173.	62,218	62,130	62,335	0,01	Стигмаст-5-ен-3-ол, (3,бета,,24s)-

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу жұмыстары нәтижесінде аса критикалық CO_2 экстракция процесі арқылы жантақтың экстрактысы алынды. Қосымша еріткіш ретінде этил спирті пайдаланылды және көмірқышқыл газы негізгі экстрагент болды. Тәжірибе кезінде таңдалған негізгі параметрлерге келсек, қысым 10Мпа, температура 35 , көмірқышқыл газының шығына 2,1-2,3л/мин, этил спиртінің мөлшері 150 мл. Осындай параметрлер негізінде экстракт шығымы 9,31 г/100г деңгейде болды және биологиялық белсенді компоненттердің белсенді бөлінуі орын алды.

Газды хроматография-масс-спектрометрия әдісі арқылы жүргізілген талдау барысында экстракт құрамында 170-тен астам қосылыс сәйкестендірілді. Алынған компоненттердің ең негізгілері монотерпендер, терпаноидтар, май қышқылдары, фитостеролдар болып табылды. Аталған компоненттердің барлығы жоғары биологиялық белсенділікке және антиоксиданттық, антимикробтық, мембранопротекторлық қасиеттерге ие.

Жүргізілген зерттеулер аса критикалық CO_2 эстракция әдісі жантақ өсімдігінен экстракт алудың қауіпсіз әдіс екенін көрсетті. Бұл әдіс органикалық еріткіштердің қолдану мөлшерін азайтып, экстракттың жоғары сапасын және табиғи қасиеттерінің сақталуын қамтамасыз етеді. Экстракттың биологиялық белсенді қоспаларының көп болуы, оны тағам, алкогольсіз сусын, косметика және химия өнеркәсібінде пайдалануға мүмкіндік береді.

Нәтижесінде, жүргізілген зерттеу жантақтан аса критикалық CO_2 экстракция арқылы биологиялық белсенді қоспаларға бай экстракт алуға болатынын көруге болады. Ұсынылған технология өсімдік шикізатын экологиялық таза, тиімді түрде өңдеуге, табиғи қосылыстарды бөліп алуға, құндылығы жоғары өнімдер өндіруге жол ашады. Болашақта алынған экстракттардың биологиялық құндылығын тереңірек зерттеу және өнеркәсіптік деңгейде қолдану мақсатында қосымша жұмыстар жүргізуге болады.

Әдебиеттер

1. Uwineza P.A., Waśkiewicz A. Recent Advances in Supercritical Fluid Extraction of Natural Bioactive Compounds from Natural Plant Materials // Molecules. -2020. -Vol.25(17): 3847. DOI 10.3390/molecules25173847.

2. Ahangari H., King J.W., Ehsani A., Yousefi M. Supercritical fluid extraction of seed oils -A short review of current trends // Trends in Food Science & Technology. -2021. -Vol.111. -P.249-260. DOI 10.1016/j.tifs.2021.02.066.

3. Hassim N., et al. Scale-up approach for supercritical fluid extraction with ethanol-water modified carbon dioxide on Phyllanthus niruri for scale enriched herbal extracts // Scientific Reports. -2021. -Vol. 11(1): 15818. DOI 10.1038/s41598-021-95222-0.

4. Saha K., Proma R.Z., Khan N. Phytochemical screening of plant extracts and GC-MS analysis of n-hexane extract of the leaves of Cassia alata Linn // The Journal of Phytopharmacology. -2020. -Vol.9(5). - P. 342–347. DOI 10.31254/phyto.2020.9509.

5. Tavassoli A.P., et al. Phytochemistry and therapeutic effects of Alhagi spp. and tarangabin in traditional and modern medicine: a review // Journal of Herbmed Pharmacology. -2020. -Vol.9(2). -P. 86-104. DOI 10.34172/jhp.2020.13.

6. Hoseinpour F., et al. Protective effect of the hydroethanolic extract of camelthorn (Alhagi maurorum) on benign prostatic hyperplasia induced by testosterone in rats// BMC Complementary Medicine and Therapies. -2025. -Vol.25(1). DOI 10.1186/s12906-025-04862-6.

7. Baldino L., Reverchon E. Challenges in the production of pharmaceutical and food related compounds by SC-CO_2 processing of vegetable matter // Journal of Supercritical Fluids. -2018. -Vol.134. -P.269-273.

DOI 10.1016/j.supflu.2017.11.034.

8. Cuéllar L.M., Escobedo-Avellaneda Z., del Valle J.M. Effect of supercritical CO_2 modified with ethanol on the extraction yield and antimicrobial activity of bioactive compounds from aerial parts of Berberis microphylla G. Forst // LWT - Food Science and Technology. -2024. - Vol.211: 116885. DOI 10.1016/j.lwt.2024.116885.

9. Abd-alkadhem N.A.D., Mohammed R.K. Determination of active phytochemical compounds of Alhagi maurorum using gas chromatography–mass spectroscopy (GC-MS) // Iraqi Journal of Science. -2022. -Vol.63(1). -P.87-97. DOI 10.24996/ijs.2022.63.1.10.

10. Xiao Y., Liu S., Gao Y., Zhang Y., Zhang Q., Li X. Determination of antibiotic residues in aquaculture products by liquid chromatography tandem mass spectrometry: recent trends and developments from 2010 to 2020 // Separations. -2022. -Vol.9(2): 35. DOI 10.3390/separations9020035.

11. Arumugham T., Rambabu K., Hasan S.W., Show P.L., Rinklebe J., Banat F. Supercritical carbon dioxide extraction of plant phytochemicals for biological and environmental applications-A review//Chemosphere. -2021. -Vol.271:129525. DOI 10.1016/j.chemosphere.2020.129525.

12. Dias A.L.B., de Aguiar A.C., Rostagno M.A. Extraction of natural products using supercritical fluids and pressurized liquids assisted by ultrasound: current status and trends // Ultrasonics Sonochemistry. -2021. -Vol.74: 105584. DOI 10.1016/j.ultsonch.2021.105584.

13. Zhang Q.W., et al. Techniques for extraction and isolation of natural products: a comprehensive review// Chinese Medicine. -2018. -Vol. 13(1). DOI: 10.1186/s13020-018-0177-x.

Авторлар туралы мәлімет

Куйколакова М.М. - докторант, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: realmadina@mail.ru;

Сергеева И.Ю. - техникалық ғылымдар докторы, доцент, Кемерово мемлекеттік университеті, Кемерово, Ресей Федерациясы, e-mail: sergeeva.76@list.ru;

Байгазиева Г.И. - биология ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: bgulgaishailias@mail.ru;

Аскарбеков Э.Б.- PhD доктор, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: erik_ab82@mail.ru;

Кекибаева А.К. - PhD, қауымдастырылған профессор, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: anara_06061983@mail.ru.

Information about the authors

Kuikolakova M.M. - PhD student, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: realmadina@mail.ru;

Sergeeva I.Yu. - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Kemerovo State University, Kemerovo, Russia, e-mail: sergeeva.76@list.ru;

Baigazieva G.I. - PhD in Biological Sciences, Associate Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: bgulgaishailias@mail.ru;

Askarbekov E.B. - PhD Doctor, K. Kulazhanov kazakh university of technology and business, Astana, Kazakhstan, e-mail: erik_ab82@mail.ru;

Kekibaeva A.K. - PhD, Associate Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: anara_06061983@mail.ru.

ҒТАМР 65.63.29; 65.63.33 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1610**

ӨСІМДІК ТЕКТЕС ТАҒАМДЫҚ ТАЛШЫҚПЕН БАЙЫТЫЛҒАН ФУНКЦИОНАЛДЫ ЙОГУРТТЫҢ АМИНҚЫШҚЫЛДЫҚ, МАЙҚЫШҚЫЛДЫҚ ЖӘНЕ ВИТАМИНДІК ҚҰРАМЫН КЕШЕНДІ БАҒАЛАУ

[1]Г.Т. Юсупова✉, [1]Ж.К. Шадьярова, [1]Д.Б. Курмангалиева, [2]А.К. Хаймулдинова, [3]С.З. Сагындыкова, [3]У.К. Бисенов

[1]С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан,
[2]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
[3]Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан

✉ *Корреспондент-автор: gaukhar.nitra@gmail.com*

Мақалада өсімдік тектес тағамдық талшықпен байытылған функционалды йогурттың аминқышқылдық, майқышқылдық және витаминдік құрамына кешенді бағалау жүргізілген. Зерттеудің өзектілігі биологиялық құндылығы жоғары, физиологиялық белсенді және профилактикалық қасиеттерге ие, адам денсаулығына оң әсер ететін функционалды тағам өнімдерін әзірлеуге деген қызығушылықтың артуымен байланысты.

Зерттеу нысаны ретінде өсімдік тектес тағамдық талшық қосу арқылы әзірленген технологиялық схема негізінде зертханалық жағдайда алынған йогурт қарастырылды. Өнімнің биохимиялық құрамын бағалау үшін аминқышқылдық профиль жоғары тиімді сұйықтықтық хроматография (ЖТСХ) әдісімен, майқышқылдық құрамы газдық хроматография әдісімен, ал витаминдік құрамы спектрофотометриялық және хроматографиялық әдістер арқылы анықталды.

Зерттеу нәтижелері өсімдік тектес тағамдық талшықты енгізу өнімнің биохимиялық көрсеткіштеріне кешенді оң әсер ететінін көрсетті. Ауыстырылмайтын аминқышқылдарының мөлшерінің артуы анықталып, бұл йогурттың биологиялық құндылығының жоғарылағанын дәлелдейді. Майқышқылдық профильдің оңтайлануы қаныққан май қышқылдарының үлесінің төмендеуімен және моно- және полиқанықпаған май қышқылдарының үлесінің артуымен сипатталады, бұл өнімнің физиологиялық құндылығын арттырады. Сонымен қатар, В тобы витаминдерінің жоғары деңгейде сақталуы байқалып, бұл өсімдік компонентінің тұрақтандырғыш әсерін көрсетеді.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы өсімдік тектес тағамдық талшықтың йогурттың биохимиялық профилінің қалыптасуына әсерін ескере отырып, оның аминқышқылдық, майқышқылдық және витаминдік құрамына кешенді баға беруде жатыр.

Зерттеудің практикалық маңыздылығы алынған нәтижелерді функционалды қасиеттері алдын ала берілген қышқыл сүт өнімдерін әзірлеуде қолдану мүмкіндігімен, сондай-ақ диеталық және профилактикалық тағам өнімдерінің ассортиментін кеңейтумен байланысты.

Әзірленген өнім жоғары тағамдық және биологиялық құндылыққа ие, айқын функционалдық қасиеттерімен сипатталады және диеталық әрі профилактикалық тамақтануда қолдануға ұсынылады.

Түйін сөздер: функционалды йогурт, өсімдік тектес тағамдық талшық, аминқышқылдар, май қышқылдары, витаминдер, биохимиялық құрам, тағамдық құндылық

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА АМИНОКИСЛОТНОГО, ЖИРНОКИСЛОТНОГО И ВИТАМИННОГО СОСТАВА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЙОГУРТА, ОБОГАЩЕННОГО РАСТИТЕЛЬНЫМ ПИЩЕВЫМ ВОЛОКНОМ

[1]Г.Т. Юсупова✉, [1]Ж.К. Шадьярова, [1]Д.Б. Курмангалиева, [2]А.К. Хаймулдинова, [3]С.З. Сагындыкова, [3]У.К. Бисенов

[1]*Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, Астана, Казахстан,*
[2]*Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,*
[3]*Атырауский университет им. Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан,*
e-mail: gaukhar.nitra@gmail.com

В статье представлена комплексная оценка аминокислотного, жирнокислотного и витаминного состава функционального йогурта, обогащенного растительным пищевым волокном. Актуальность исследования обусловлена возрастающим интересом к разработке функциональных продуктов питания с повышенной биологической ценностью, физиологической активностью и профилактическими свойствами, способных оказывать положительное влияние на состояние здоровья человека.

Объектом исследования являлся йогурт, полученный в лабораторных условиях с использованием разработанной технологической схемы с добавлением растительного пищевого волокна. Для оценки биохимического состава продукта определяли аминокислотный профиль методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), жирнокислотный состав – методом газовой хроматографии, витаминный состав – с использованием спектрофотометрических и хроматографических методов анализа.

Результаты исследования показали, что внесение растительного пищевого волокна оказывает комплексное положительное влияние на биохимические характеристики продукта. Установлено увеличение содержания незаменимых аминокислот, что свидетельствует о повышении биологической ценности йогурта. Оптимизация жирнокислотного профиля выражается в снижении доли насыщенных и увеличении содержания моно- и полиненасыщенных жирных кислот, что способствует улучшению его физиологической ценности. Кроме того, отмечена высокая сохранность витаминов группы В, что указывает на стабилизирующее влияние растительного компонента.

Научная новизна работы заключается в комплексной оценке аминокислотного, жирнокислотного и витаминного состава функционального йогурта, обогащенного растительным пищевым волокном, с учетом влияния растительного компонента на формирование его биохимического профиля.

Практическая значимость исследования состоит в возможности использования полученных результатов при разработке функциональных кисломолочных продуктов с заданными свойствами, а также в расширении ассортимента продуктов диетического и профилактического питания.

Разработанный продукт обладает выраженными функциональными свойствами, высокой пищевой и биологической ценностью и может быть рекомендован для включения в рацион диетического и профилактического питания.

Ключевые слова: функциональный йогурт, растительное пищевое волокно, аминокислоты, жирные кислоты, витамины, биохимический состав, пищевая ценность.

COMPREHENSIVE ANALYSIS OF AMINO ACID, FATTY ACID AND VITAMIN COMPOSITION OF FUNCTIONAL YOGURT ENRICHED WITH PLANT-BASED DIETARY FIBER

[1]G. Yussupova✉, [1]Zh. Shadyarova, [1]D. Kurmangaliyeva, [2]A. Khaimuldinova, [3]S. Sagyndykova, [3]U. Bissenov

[1]*S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan,*
[2] *L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,*
[3] *Khalel Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan,*
e-mail: gaukhar.nitra@gmail.com

This study presents a comprehensive evaluation of the amino acid, fatty acid, and vitamin composition of functional yogurt enriched with plant-based dietary fiber. The relevance of the research is associated with the growing interest in the development of functional food products characterized by high biological value, physiological activity, and preventive properties that contribute positively to human health.

The object of the study was yogurt produced under laboratory conditions using a developed technological scheme involving the incorporation of plant-based dietary fiber. The biochemical composition of the product was assessed by determining the amino acid profile using high-performance liquid chromatography (HPLC), the fatty acid composition using gas chromatography, and the vitamin content using spectrophotometric and chromatographic analytical methods.

The results demonstrated that the addition of plant-based dietary fiber had a positive effect on the biochemical characteristics of the product. An increase in the content of essential amino acids was observed, indicating an improvement in the biological value of the yogurt. The optimization of the fatty acid profile was characterized by a reduction in saturated fatty acids and an increase in mono- and polyunsaturated fatty acids, contributing to enhanced physiological value. Furthermore, a high retention of B-group vitamins was observed, indicating the stabilizing effect of the plant component.

The scientific novelty of the study lies in the comprehensive assessment of the amino acid, fatty acid, and vitamin composition of functional yogurt enriched with plant-based dietary fiber, taking into account the influence of the plant component on the formation of its biochemical profile.

The practical significance of the research is associated with the possibility of applying the obtained results in the development of functional fermented dairy products with targeted properties, as well as in expanding the range of dietary and preventive food products.

The developed product is characterized by pronounced functional properties, high nutritional and biological value, and can be recommended for inclusion in dietary and preventive nutrition.

Keywords: functional yogurt, plant-based dietary fiber, amino acids, fatty acids, vitamins, biochemical composition, nutritional value

Кіріспе. Қазіргі таңда тағам өнеркәсібінің даму жағдайында биологиялық құндылығы жоғары және адам ағзасына профилактикалық әсер ететін функционалды тағам өнімдерін әзірлеуге ерекше көңіл бөлінуде. Осы бағыттағы ең перспективалы бағыттардың бірі - биологиялық белсенді компоненттермен байытылған ферменттелген сүт өнімдерін өндіру болып табылады [1,2]. Бұл үрдіс тек қана дұрыс тамақтануға деген тұтынушылар сұранысының артуымен ғана емес, сонымен қатар тағамдық жүйелердің сапасын және функционалдық бағыттылығын арттыруды қамтамасыз ететін жаңа технологиялық шешімдерді әзірлеу қажеттілігімен де байланысты.

Йогурт функционалды тағам өнімдерінің ішінде маңызды орын алады, себебі оның құрамында жеңіл сіңетін ақуыз, кальций және пробиотикалық микроорганизмдер мол. Оны тұрақты түрде тұтыну ішек микробиотасын қалыпқа келтіруге, ас қорыту процестерін жақсартуға және иммундық қорғанысты күшейтуге ықпал етеді. Дегенмен, дәстүрлі йогурттардың биохимиялық құрамы әрдайым оңтайлы бола бермейді, бұл оларды қосымша функционалды ингредиенттермен байыту қажеттілігін туындатады [3]. Осыған байланысты, алдын ала берілген биохимиялық және физиологиялық қасиеттерге ие өнімдерді әзірлеу өзекті бағыттардың бірі болып табылады.

Соңғы жылдары қышқыл сүт өнімдерінің технологиясында өсімдік тектес тағамдық талшықтарды қолдануға ерекше назар аударылуда. Бұл компоненттер тек құрылым түзуші қызмет атқарып қана қоймай, өнімде жүретін биохимиялық процестерге де әсер етеді. Өсімдік талшықтарының полисахаридтік компоненттері сүт ақуыздарымен әрекеттесіп, тұрақты ақуыз-полисахаридтік матрица түзеді, бұл өнімнің құрылымдық және функционалдық қасиеттерін жақсартады [4]. Мұндай құрылымның түзілуі өнімнің реологиялық қасиеттеріне, су ұстау қабілетіне және сақтау барысында тұрақтылығына оң әсер етеді. Сонымен қатар, өсімдік тектес тағамдық талшықтар ашытқы микрофлорасының протеолитикалық белсенділігіне әсер

етіп, аминқышқылдық құрамның өзгеруіне және өнімнің биологиялық құндылығының артуына ықпал етеді [5]. Ферментация процесі кезінде ақуыздардың қарқынды ыдырауы нәтижесінде биологиялық белсенді пептидтер мен бос аминқышқылдар түзіледі, бұл дайын өнімнің функционалдық құндылығын едәуір арттырады. Сонымен бірге, тағамдық талшықтарды қосу майқышқылдық профильдің өзгеруіне, атап айтқанда май қышқылдарының қайта бөлінуіне және биологиялық құнды қанықпаған май қышқылдарының үлесінің артуына әсер етеді [6].

Қышқыл сүт өнімдерінің витаминдік құрамы да технологиялық факторлар мен рецептуралық құрамға байланысты өзгеруі мүмкін. Өсімдік тектес компоненттерді қолдану В тобы витаминдерінің сақталуына ықпал етіп, өнімнің антиоксиданттық әлеуетін арттырады [7]. Сонымен қатар, тағамдық талшықтардың болуы тотығу процестерінің қарқындылығын төмендететін қорғаныш құрылымның қалыптасуы арқылы витаминдердің тұрақтануына мүмкіндік береді.

Осы зерттеуде өсімдік тектес тағамдық талшық ретінде псиллиум (Plantago ovata) пайдаланылды. Псиллиум құрамында еритін және ерімейтін тағамдық талшықтар бар, жоғары су байланыстыру қабілетімен, пребиотикалық қасиеттерімен және өнімнің құрылымдық тұрақтылығын арттыру мүмкіндігімен ерекшеленеді. Функционалды сүт өнімдерінде псиллиумды қолдану олардың тағамдық және биологиялық құндылығын жоғарылатуға мүмкіндік береді. Алайда, жүргізілген зерттеулерге қарамастан, көптеген ғылыми жұмыстар өсімдік компоненттерінің йогурт қасиеттеріне әсерінің жекелеген аспектілерін ғана қарастырады, ал оның биохимиялық құрамына кешенді баға беру жеткіліксіз зерттелген. Әсіресе, өсімдік тектес тағамдық талшықтармен байытылған функционалды қышқыл сүт өнімдерінің аминқышқылдық, майқышқылдық және витаминдік құрамдарының өзара байланысын сипаттайтын деректер шектеулі. Бұл ғылыми олқылықтың бар екенін көрсетеді және осы бағытта кешенді зерттеулер жүргізудің қажеттілігін айқындайды. Осылайша, зерттеудің өзектілігі өсімдік тектес тағамдық талшықтарды қышқыл сүт өнімдері технологиясында қолданудың ғылыми негіздерін анықтаумен, олардың тағамдық және биологиялық құндылығын арттырумен, сондай-ақ өнімнің функционалдық қасиеттерін қалыптастырумен байланысты.

Осы зерттеудің мақсаты - өсімдік тектес тағамдық талшықпен байытылған функционалды йогурттың аминқышқылдық, майқышқылдық және витаминдік құрамына кешенді баға беру.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу нысаны ретінде С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің сүт өңдеу бойынша тәжірибелік-өндірістік цехы жағдайында алынған әзірленген функционалды йогурт алынды. Өндіріс дайын өнімнің құрылымы мен сапасының тұрақтылығын қамтамасыз ететін технологиялық параметрлерді, сондай-ақ КО ТР 021/2011 және КО ТР 033/2013 техникалық регламенттерінің талаптарын сақтай отырып жүргізілді [8,9].

Өсімдік тектес тағамдық талшық ретінде псиллиум (Plantago ovata) қолданылды. Псиллиум құрамында еритін және ерімейтін тағамдық талшықтар кешені бар және жоғары гидратациялық қасиеттерімен ерекшеленеді. Псиллиум дайын йогуртқа ферментация процесі аяқталғаннан кейін енгізілді және біркелкі консистенция алынғанға дейін араластырылды. Бақылау үлгісі ретінде тағамдық талшық қосылмаған дәстүрлі йогурт пайдаланылды. Әзірленген йогурттың аминқышқылдық, майқышқылдық және витаминдік құрамын анықтау Инжинирингтік органикалық агротехнологиялар орталығы базасында, сертификатталған аналитикалық құрал-жабдықтармен жабдықталған зертханада заманауи аспаптық талдау әдістерін қолдану арқылы жүзеге асырылды.

Аминқышқылдық құрам жоғары тиімді сұйықтықтық хроматография (ЖТСХ) әдісімен жалпы қабылданған әдістемелік тәсілдерге сәйкес анықталды [1]. Үлгілерді дайындау ақуыздарды 6 н. тұз қышқылы ерітіндісінде 110 °С температурада 24 сағат бойы қышқылдық гидролиздеу кезеңін қамтыды. Гидролизден кейін үл-

гілер бейтараптандырылып, сүзгіден өткізіліп, хроматографиялық талдауға жіберілді. Аминқышқылдарды бөлу кері фазалы стационарлық фазасы бар колонкада жүргізілді, ал детекция ультракүлгін детектор көмегімен жүзеге асырылды. Аминқышқылдарды сәйкестендіру және сандық анықтау сыртқы стандарт әдісімен орындалды. Майқышқылдық құрам газдық хроматография әдісімен заманауи аналитикалық тәсілдерге сәйкес анықталды [6]. Липидтік фракцияны экстракциялау стандартты әдістеме бойынша жүргізіліп, кейін май қышқылдарының метил эфирлері (FAME) сілтілік метанолиз әдісі арқылы алынды. Хроматографиялық талдау пламенноионизациялық детектормен (FID) және капиллярлық колонкамен жабдықталған газдық хроматографта жүргізілді. Май қышқылдарын сәйкестендіру стандартты қоспалармен салыстырмалы ұстау уақыты бойынша, ал сандық бағалау ішкі нормалау әдісі арқылы жүзеге асырылды.

Витаминдердің (B1, B2, B6) мөлшері спектрофотометриялық және хроматографиялық әдістерді қолдану арқылы жалпы қабылданған әдістемелік тәсілдерге сәйкес анықталды [7]. Витаминдерді экстракциялау йогурт матрицасынан су-спирттік ерітінділер көмегімен жүргізіліп, кейін тазалау және сүзу кезеңдерінен өтті. Сандық анықтау стандартты ерітінділер негізінде құрылған градуирлеу графиктері арқылы жүзеге асырылды.

Сүтқышқылды микроорганизмдерді анықтау ГОСТ 10444.11–2013 стандартына сәйкес жүргізілді [10].

Зерттеу үш тәуелсіз тәжірибелік серияда жүргізіліп, барлық өлшеулер үш қайталымда орындалды. Алынған нәтижелер орташа мән (M) және стандарттық ауытқу (SD) түрінде ұсынылды. Мәліметтерді статистикалық өңдеу IBM SPSS Statistics 26 бағдарламалық пакеті арқылы жүзеге асырылды. Айырмашылықтардың сенімділігі $p \leq 0,05$ деңгейінде бір факторлы дисперсиялық талдау (ANOVA) әдісімен бағаланды.

Нәтижелер және талқылау. Функционалды йогурттың аминқышқылдық құрамын анықтау нәтижелері 1-кестеде көрсетілген.

1-кесте. Функционалды йогурттың аминқышқылдық құрамы, мг/100 г

Аминқышқылдар	Бақылау үлгісі	Әзірленген йогурт
Лейцин	135	148
Изолейцин	82	90
Валин	95	104
Лизин	120	132
Треонин	70	78
Глутамин қышқылы	310	335
Аспарагин қышқылы	210	225

1-кестеден көрініп тұрғандай, әзірленген функционалды йогурт бақылау үлгісімен салыстырғанда алмастырылмайтын және алмастырылатын аминқышқылдардың жоғары мөлшерімен сипатталады. Атап айтқанда, лейцин мөлшері 135-тен 148 мг/100 г дейін артып (9,6 %), ал лизин 120-дан 132 мг/100 г дейін (10,0 %) жоғарылаған. Осындай үрдіс изолейцин (+9,8 %) және валин (+9,5 %) үшін де байқалады. Аминқышқылдық құрамдағы байқалған айырмашылықтар өсімдік тектес тағамдық талшықты қолдану нәтижесінде өнімнің тағамдық және биологиялық құндылығының артуымен байланысты болуы мүмкін. Осылайша, алмастырылмайтын аминқышқылдар мөлшерінің жоғарылауы өнімнің биологиялық құндылығының артқанын көр-

сетеді.

Қосымша түрде, бос аминқышқылдар мөлшерінің артуы өнімнің органолептикалық қасиеттерін жақсартуға, атап айтқанда дәмі мен хош иісінің күшеюіне ықпал ететіні анықталды. Сонымен қатар, аминқышқылдар өнімнің буферлік қасиеттерін қалыптастыруда маңызды рөл атқарып, сақтау барысында pH тұрақтылығын қамтамасыз етеді және оның технологиялық тұрақтылығын арттырады.

Майқышқылдық құрамды анықтау нәтижелері 2-кестеде келтірілген.

2-кесте. Майқышқылдық құрамы, % (жалпы май қышқылдарына шаққанда)

Май қышқылдары	Бақылау	Әзірленген йогурт
Қаныққан (SFA)	65,2	61,8
Моноқанықпаған (MUFA)	25,4	27,6
Полиқанықпаған (PUFA)	9,4	10,6

2-кестеде көрсетілгендей, әзірленген йогуртта қаныққан май қышқылдарының үлесі 65,2 %-дан 61,8 %-ға дейін төмендеген, бұл 5,2 %-ға азаюды көрсетеді. Сонымен қатар, моноқанықпаған май қышқылдарының мөлшері 25,4 %-дан 27,6 %-ға дейін (+8,7 %), ал полиқанықпаған май қышқылдарының үлесі 9,4 %-дан 10,6 %-ға дейін (+12,8 %) артқаны байқалады. Майқышқылдық профильдегі байқалған өзгерістер өсімдік тектес тағамдық талшықты қолдану нәтижесінде өнімнің жалпы биохимиялық құрамының оңтайлануымен байланысты болуы мүмкін. Қанықпаған май қышқылдарының үлесінің артуы маңызды көрсеткіш болып табылады, себебі бұл қосылыстар жүрек-қан тамырлары ауруларының алдын алуда және липидтік алмасуды қалыпқа келтіруде маңызды рөл атқарады.

Қаныққан май қышқылдарының азаюы және моно- және полиқанықпаған май қышқылдарының артуы майқышқылдық құрамның неғұрлым теңгерімді болуына ықпал етеді, бұл әзірленген өнімнің физиологиялық құндылығын арттырады.

Осылайша, өсімдік тектес тағамдық талшықты қосу йогурттың липидтік құрамына оң әсер етіп, оның функционалдық қасиеттерін жақсартады.

Витаминдік құрамды талдау нәтижелері 3-кестеде ұсынылған.

3-кесте. Функционалды йогурттың витаминдік құрамы

Көрсеткіш	Бақылау	Әзірленген йогурт
Витамин B1, мг/100 г	0,04	0,05
Витамин B2, мг/100 г	0,18	0,21
Витамин B6, мг/100 г	0,05	0,06

3-кесте мәліметтеріне сәйкес, витамин B1 мөлшері 0,04-тен 0,05 мг/100 г дейін (+25,0 %), витамин B2 – 0,18-ден 0,21 мг/100 г дейін (+16,7 %), витамин B6 – 0,05-тен 0,06 мг/100 г дейін (+20,0 %) артқаны анықталды.

Алынған нәтижелер әзірленген өнімде витаминдердің жоғары деңгейде сақталғанын көрсетеді. Бұл ақуыз-полисахаридтік құрылымның қорғаныш әсерімен байланысты, ол тотығу процестерінің қарқындылығын төмендетіп, биоло-

гиялық белсенді заттардың тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Қосымша түрде, В тобы витаминдерінің сақталуы тек өнім құрылымының қорғаныш әсерімен ғана емес, сонымен қатар ферментация процесінде осы витаминдерді синтездей алатын ашытқы микроорганизмдерінің метаболикалық белсенділігімен де байланысты екені анықталды. Бұл әзірленген өнімді тағам рационында маңызды микронутриент көзі ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер әдебиетте жарияланған зерттеулермен сәйкес келеді. Dong және әріптестерінің зерттеулерінде тағамдық талшықтарды йогурт құрамына енгізу өнімнің тұрақтылығы мен тағамдық құндылығын арттыратыны көрсетілген. Біздің зерттеуімізде де өсімдік тектес тағамдық талшықты қолдану аминқышқылдық, майқышқылдық және витаминдік құрам көрсеткіштерінің жақсаруына ықпал етті.

Жалпы алғанда, йогуртты өсімдік тектес тағамдық талшықпен байыту оның биохимиялық құрамын жақсартып, алмастырылмайтын аминқышқылдар мөлшерін арттырып, майқышқылдық профильді оңтайландырып және витаминдердің сақталуын қамтамасыз ететіні анықталды. Бұл өнімнің тағамдық және биологиялық құндылығының жоғарылағанын дәлелдейді.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы псиллиум негізіндегі өсімдік тектес тағамдық талшықпен байытылған функционалды йогурттың аминқышқылдық, майқышқылдық және витаминдік құрамына кешенді баға беруде, сондай-ақ тағамдық талшықтың өнімнің биохимиялық профилі мен биологиялық құндылығын қалыптастырудағы әсерін анықтауда жатыр.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу нәтижесінде йогуртты өсімдік тектес тағамдық талшықпен байыту оның биохимиялық құрамына оң әсер ететіні анықталды. Алмастырылмайтын аминқышқылдар мөлшерінің артуы, қаныққан май қышқылдарының азаюы және қанықпаған май қышқылдарының үлесінің жоғарылауы, сондай-ақ В тобы витаминдерінің жақсы сақталуы өнімнің тағамдық және биологиялық құндылығының артқанын көрсетті.

Зерттелген үлгі диеталық және профилактикалық тамақтануға арналған перспективалы қышқыл сүт өнімі ретінде ұсынылуы мүмкін. Жүргізілген зерттеу өсімдік тектес тағамдық талшықтарды функционалды қышқыл сүт өнімдері технологиясында қолданудың тиімділігін дәлелдеп, жоғары тағамдық және биологиялық құндылығы бар жаңа өнімдерді әзірлеу үшін ғылыми негіз қалыптастырады.

Әдебиеттер

1. Aryana K.J., Olson D.W. A 100-year review: Yogurt and other cultured dairy products // Journal of Dairy Science. -2017.-Vol.100 (12). -P. 9987-10013. DOI 10.3168/jds.2017-12981.

2. Gómez-Gallego C., Gueimonde M., Salminen S. The role of yogurt in food-based dietary guidelines//Nutrition Reviews.-2018.-Vol.76.- P. 29-39. DOI 10.1093/nutrit/nuy059.

3. Ranadheera R.D.C.S., Baines S.K., Adams M.C. Importance of food in probiotic efficacy//Food Research International. -2010.-Vol.43.- P. 1-7. DOI 10.1016/j.foodres.2009.09.009.

4. Dong R., Liao W., Xie J.H., Chen Y. Enrichment of yogurt with carrot soluble dietary fiber prepared by three physical modified treatments: Microstructure, rheology and storage stability// Innovative Food Science & Emerging Technologies. -2022.-Vol.75:102901. DOI 10.1016/j.ifset.2021.102901.

5. Shah N.P. Probiotic bacteria: selective enumeration and survival in dairy foods //Journal of Dairy Science. -2000.-Vol.83(4). -P.894-907. DOI 10.3168/jds. S0022-0302(00)74953-8.

6. Mudgil D., Barak S. Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review // International Journal of Biological Macromolecules. -2013.- Vol.61.-P. 1-6. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2013.06.044.

7. Granato D., Branco G.F., Cruz A.G., Faria J.A.F., Shah N.P. Probiotic dairy products as functional foods // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. -2010.-Vol.9(5). -P.455-470. DOI 10.1111/j.1541-4337.2010.00120.x.

8. ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции». от 9 декабря 2011 г. № 880. //Әділет. - 2013. –URL:https://adilet.zan.kz. -Дата обращения: 01.04.2026 г.

9. ТР ТС 033/2013. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции». от 9 октября 2013 г. № 67. //Әділет. - 2013. –URL:https://adilet.zan.kz. - Дата обращения: 01.04.2026 г.

10. ГОСТ 10444.11-2013 Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества мезофильных молочнокислых микроорганизмов (ISO 15214:1998, MOD). -М.: Стандартинформ.-2014.-URL: 4293775303.pdf.

References

1. Aryana K.J., Olson D.W. A 100-year review: Yogurt and other cultured dairy products // Journal of Dairy Science. -2017.-Vol.100 (12). -P. 9987-10013. DOI 10.3168/jds.2017-12981.

2. Gómez-Gallego C., Gueimonde M., Salminen S. The role of yogurt in food-based dietary guidelines//Nutrition Reviews.-2018.-Vol.76.- P. 29-39. DOI 10.1093/nutrit/nuy059.

3. Ranadheera R.D.C.S., Baines S.K., Adams M.C. Importance of food in probiotic efficacy//Food Research International. -2010.-Vol.43.- P. 1-7. DOI 10.1016/j.foodres.2009.09.009.

4. Dong R., Liao W., Xie J.H., Chen Y. Enrichment of yogurt with carrot soluble dietary fiber prepared by three physical modified treatments: Microstructure, rheology and storage stability// Innovative Food Science & Emerging Technologies. -2022.-Vol.75:102901. DOI 10.1016/j.ifset.2021.102901.

5. Shah N.P. Probiotic bacteria: selective enumeration and survival in dairy foods //Journal of Dairy Science. -2000.-Vol.83(4). -P.894-907. DOI 10.3168/jds. S0022-0302(00)74953-8.

6. Mudgil D., Barak S. Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review // International Journal of Biological Macromolecules. -2013.- Vol.61.-P. 1-6. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2013.06.044.

7. Granato D., Branco G.F., Cruz A.G., Faria J.A.F., Shah N.P. Probiotic dairy products as functional foods // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. -2010.-Vol.9(5). -P.455-470. DOI 10.1111/j.1541-4337.2010.00120.x.

8. TR TS 021/2011. Tehnicheskij reglament Tamozhennogo sojuza «O bezopasnosti pishhevoj produkcii». ot 9 dekabrja 2011 g. № 880. //Ədilet. - 2013. –URL:https://adilet.zan.kz. -Data obrashhenija: 01.04.2026 g. [in Russian]

9. TR TS 033/2013. Tehnicheskij reglament Tamozhennogo sojuza «O bezopasnosti moloka i molochnoj produkcii». ot 9 oktjabrja 2013 g. № 67. //Ədilet. - 2013. –URL:https://adilet.zan.kz. - Data obrashhenija: 01.04.2026 g. [in Russian]

10. GOST 10444.11-2013 Mikrobiologija pishhevyh produktov i kormov dlja zhivotnyh. Metody vyjavlenija i podscheta kolichestva mezofil’ nyh molochnokislyh mikroorganizmov (ISO 15214:1998, MOD). -M.: Standartinform. -2014.-URL: 4293775303.pdf. [in Russian]

Авторлар туралы мәлімет

Юсупова Г.Т. - PhD, аға оқытушы, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана , Қазақстан, e-mail: gaukhar.nitra@gmail.com;

Шадьярова Ж.К.- PhD, аға оқытушы, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: zhazirashadyarova@gmail.com;

Курмангалиева Д.Б. - техника ғылымдарының докторы, профессор м.а., С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: d.kurmangaliyeva@kazatu.edu.kz;

Хаймулдинова А.К. - техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессоры, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: akhaymuldinova@bk.ru;

Сагындыкова С.З. - биология ғылымдарының докторы, профессор, Халел Досмұхамедова атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан, e-mail: Sofiazul@mail.ru;

Бисенов У.К. - биология ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халел Досмұхамедова атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан, e-mail: bisenov.utepbergen@mail.ru.

Information about the authors

Yussupova G. - PhD, Senior Lecturer, S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, e-mail: gaukhar.nitra@gmail.com;

Shadyarova Zh.- PhD, S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, e-mail: zhazira_shadyarova@bk.ru;

Kurmangaliyeva D. - Doctor of Technical Sciences, Acting Professor, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, e-mail: d.kurmangaliyeva@kazatu.edu.kz;

Khaimuldinova A. - candidate of Technical Sciences, Associate Professor, L. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, akhaymuldinova@bk.ru;

Sagyndykova S. - Doctor of Biological Sciences, Professor, Kh. Dosmukhamedova, Atyrau University,Atyrau, Kazakhstan, e-mail: Sofiazul@mail.ru;

Bissenov U.- Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: bisenov.utepbergen@mail.ru.

МРНТИ 65.53.09 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1595**

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАТУРАЛЬНОГО КРАСИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ СВЁКЛЫ В ВИДЕ КОНЦЕНТРАТА И ПОРОШКА

[2]Э.К. Окусханова, [1]Ж.С. Есимбеков, [1]А.К. Суйчинов, [1]Г.А. Капашева✉, [2]А.Ш. Кабылкакова

[1]Семейский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Семей, Казахстан,
[2]НАО «Шәкәрім Университеті»,Семей, Казахстан

✉ *Корреспондент-автор:gena.89.89@mail.ru*

В данной исследовательской работе была рассмотрена технология получения натурального красителя из свеклы. Натуральный краситель был приготовлен в двух формах. Они были в виде жидкого концентрата и порошка. В ходе исследования были выявлены физические и органолептические свойства (цвет, запах, вкус и консистенция) полученного продукта, pH и активность воды. Исследование показало, что свекольный порошок обладает очень низкой водной активностью (0,1525). Это говорит о его высокой стабильности и длительном сроке хранения. Жидкий концентрат обладал высокой водной активностью (0,9742). Это указывает на необходимость жестких температур и условий хранения. Два полученных типа красителей имели одинаковые значения pH (5,66 и 5,70). Это показывает их устойчивость. Кроме того, натуральные бетацианиновые пигменты в свекле позволяют красителю дольше сохранять интенсивность цвета. В целом краситель свеклы считается экологически чистой и полезной натуральной добавкой. Его использование в мясных продуктах продлевает срок их хранения и помогает снизить содержание нитритов. Это также показывает, что использование натуральных красителей в продукте увеличивает его биологическую ценность.

Ключевые слова: натуральный краситель, свекольный концентрат, свекольный порошок, активность воды, экстракт

ҚЫЗЫЛША НЕГІЗІНДЕГІ ТАБИҒИ БОЯУДЫ ҚОНЦЕНТРАТ ЖӘНЕ ҰНТАҚ ТҮРІНДЕ АЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

[2]Э.К. Окусханова, [1]Ж.С. Есимбеков, [1]А.К. Суйчинов, [1]Г.А. Капашева✉, [2]А.Ш. Қабылқакова

[1]Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ғылыми зерттеу институты Семей филиалы, Семей, Қазақстан,
[2]«Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті» КЕҚ, Қазақстан, Семей,
e-mail: gena.89.89@mail.ru

Бұл зерттеу жұмысында қызылшадан табиғи бояғыш алу технологиясы қарастырылды. Табиғи бояғыш екі түрде дайындалып алынды. Олар сұйық концентрат және ұнтақ түрінде болды. Зерттеу барысында алынған өнімнің физикалық және органолептикалық қасиеттері (түсі, иісі, дәмі және консистенциясы), pH және су белсенділігі анықталды. Зерттеу нәтижесінде қызылша ұнтағының су белсенділігі өте төмен екенін көрсетті (0,1525). Бұл оның жоғары тұрақтылығын және ұзақ сақтау мерзімін көрсетеді. Сұйық концентраттың су белсенділігі жоғары болды (0,9742). Бұл қатаң температура мен сақтау шарттарының қажеттілігін көрсетеді. Алынған екі бояғыш түрінің pH мәндері ұқсас болды (5,66 және 5,70). Бұл олардың тұрақтылығын көрсетеді. Сонымен қатар, қызылшадағы табиғи бетацианин пигменттері бояғыштың түс қарқындылығын ұзақ уақыт сақтауға мүмкіндік береді. Жалпы алғанда, қызылша бояғышы экологиялық таза және пайдалы табиғи қоспа болып саналады. Оны ет өнімдерінде қолдану олардың сақтау мерзімін ұзартады және нитриттердің мөлшерін азайтуға көмектеседі. Бұл сонымен қатар өнімде табиғи бояғыштарды қолдану оның биологиялық құндылығын арттыратынын көрсетеді.

Түйін сөздер: табиғи бояғыш, қызылша концентраты, қызылша ұнтағы, су активтілігі, экстракт

TECHNOLOGY FOR OBTAINING NATURAL BEETROOT COLORANT IN THE FORM OF CONCENTRATE AND POWDER

[2]E.K. Okuskhanova, [1]Zh.S. Yesimbekov, [1]A. K. Suichinov, [1]G. A. Kapasheva✉, [2]A.Sh. Kabyilkakova

[1]Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry Semey branch, Semey, Kazakhstan,
[2]NJC «Shakarim University», Semey, Kazakhstan,
e-mail:gena.89.89@mail.ru

This research paper examined the technology for obtaining natural dyes from beets. The natural dyes were prepared in two forms. They were in the form of a liquid concentrate and a powder. During the study, the physical and organoleptic properties (color, smell, taste, and consistency), pH and water activity of the resulting product were determined. The results of the study showed that beet powder has a very low water activity (0.1525). This indicates its high stability and long shelf life. The liquid concentrate had a high water activity (0.9742). This indicates the need for strict temperature and storage conditions. The pH values of the two types of dyes obtained were similar (5.66 and 5.70). This indicates their stability. In addition, the natural betacyanin pigments in beets allow the color intensity of the dye to be maintained for a long time. In general, beet dye is considered an environmentally friendly and useful natural additive. Its use in meat products extends their shelf life and helps reduce the amount of nitrites. This also indicates that the use of natural dyes in the product increases its biological value.

Keywords: natural colorant, beetroot concentrate, beetroot powder, water activity, extract

Введение. Одним из главных показателей качества пищевых продуктов является их цвет. Он определяет качество, свежесть и привлекательность продукта для потребителя. Известно, что цвет влияет не только на первое впечатление, но и на стимуляцию аппетита. Это происходит потому, что он активирует вегетативную нервную систему, связанную с пищеварением [1]. Поэтому обеспечение стабильности и естественности цветовых характеристик является одной из важнейших задач современной пищевой промышленности.

В пищевой промышленности используются натуральные и синтетические красители [2]. Несмотря на эффективность и доступность синтетических добавок, в последние годы возросла обеспокоенность по поводу их безопасности. Данные научных исследований указывают на то, что некоторые синтетические красители могут обладать мутагенным и канцерогенным действием. Поэтому поиск и внедрение натуральных альтернатив является актуальной задачей [3].

Цвет особенно важен в мясных и колбасных изделиях, поскольку потребители напрямую связывают его со свежестью, качеством и вкусом [4]. Натуральные красители, особенно красители растительного происхождения, такие как свекла, паприка, морковь и т. д., считаются безопасной и физиологически ценной альтернативой синтетическим добавкам [5].

Кроме того, особый интерес представляет свекла. Благодаря содержанию природных антиоксидантов - беталаинов, которые придают мясным продуктам насыщенный красный цвет и могут частично заменить содержащиеся в них нитриты [6].

Свекольный сок и порошок богаты беталаинами, фенольными соединениями и неорганическими нитратами. Это помогает продлить срок хранения мясных продуктов, повысить их окислительную стабильность и снизить потребность в синтетических добавках [7].

Несмотря на очевидные преимущества натуральных красителей, их эффективное использование требует совершенствования технологических процессов. Прежде всего, важно обеспечить стабильность цвета при термической обработке, сохранить органолептические свойства и адаптировать красители к технологиям переработки мяса.

Целью работы является получение красителя из свёклы в виде концентрата и порошка, а также оценка его органолептических свойств и возможности применения в пищевых продуктах.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования в данной работе выступали натуральный концентрат, полученный из столовой свёклы (Beta vulgaris L.), и свекольный порошок. Получение свекольного красителя (концентрат и порошок)

Экстракцию красителя проводили водно-кислотным методом, после чего полученный состав упаривали под вакуумом (рисунок 1). Сырьем служила свежая столовая свёкла, которую предварительно мыли, очищали и измельчали на кубики (размером примерно 5–10 мм).

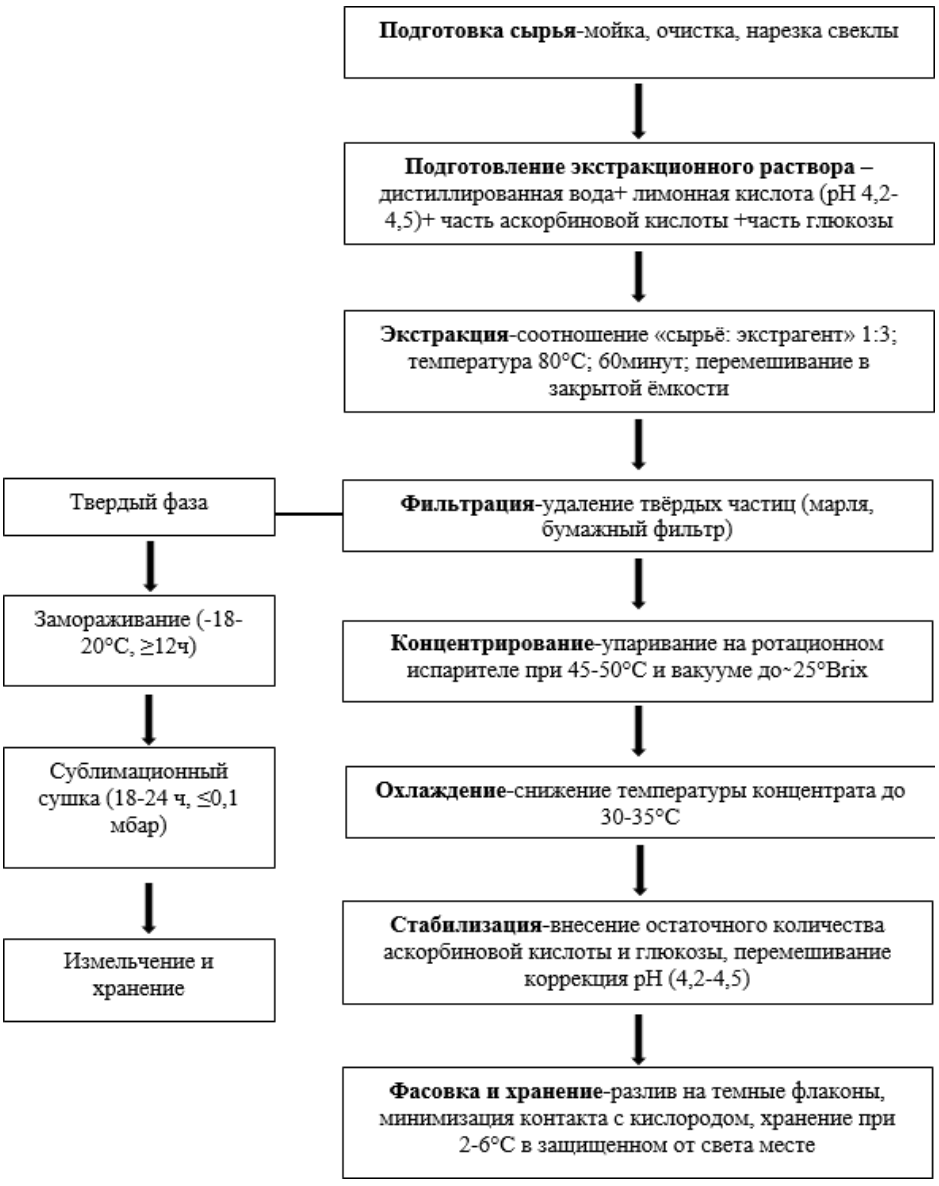


Рис.1 - Схема получения свекольного красителя в форме концентрата и порошка

Сам процесс протекал следующим образом:

1. Экстракция: Подготовленное сырье заливали дистиллированной водой в соотношении 1:3. Для стабилизации пигментов (беталаинов) в среду добавляли лимонную кислоту (до достижения pH 4,2–4,5), а также часть аскорбиновой кислоты и глюкозы. Нагрев вели при 80 °C в течение часа, постоянно перемешивая смесь в закрытой емкости, чтобы избежать окисления.

2. Разделение фаз: После завершения экстрак-

ции раствор отделяли от мякоти путем многоступенчатой фильтрации.

3. Получение порошка: Оставшуюся твердую фазу (мякоть) сначала замораживали, а затем подвергали лиофильной (сублимационной) сушке. Высушенный продукт измельчали на лабораторной мельнице до состояния мелкого порошка.

4. Концентрирование: Жидкий экстракт концентрировали на ротационном испарителе. Процесс шел при пониженном давлении до тех пор, пока содержание сухих веществ не достигло 25 °Brix.

На финальном этапе, когда концентрат остывал до 30–35 °C, в него вносили оставшуюся часть глюкозы и аскорбиновой кислоты. Это необходимо для окончательной стабилизации цвета и защиты от окисления. После проверки уровня pH (в пределах 4,2–4,5) готовый концентрат разливали в темную стеклянную тару. Хранение осуществляли при температуре 2–6 °C в защищенном от света месте.

Определение активности воды. Определение активности воды (aw)-с использованием прибора LabTouch-aw (Италия) [8].

Определение pH. Активную кислотность среды (pH) определяли потенциометрическим методом на приборе pH-метр-Seven2Go^{TM}, погружением электрода в раствор с фиксацией значения pH на шкале прибора. Раствор (водную вытяжку) готовили из измельченного продукта с водой (в соотношении 1:10). pH измеряли после настаивания в течение 30 минут при температуре 20^{0}C [9].

Органолептические показатели (цвет, запах, вкус, консистенция) определялись в соответствии с методологией органолептического анализа пищевых продуктов согласно ГОСТ ISO 6658-2016 [10].

Статистический анализ. Все экспериментальные исследования проводились как минимум в трехкратной повторности (n=3). Обработку результатов измерений осуществляли с помощью программы Microsoft Excel 2016. Для оценки достоверности различий применялся t-критерий Стьюдента. Результаты анализов считались статистически значимыми при $p \leq 0,05$. Данные в таблицах представлены как среднее значение ± стандартное отклонение.

Обсуждение и результаты. Изучение активности воды и pH свекольного концентрата и порошка. На первоначальном этапе был исследована активность воды и pH свекольного концентрата и порошка.

Таблица 1 - Результаты измерения активности воды и уровня pH

Показатель	Свекольный концентрат	Свекольный порошок
Активность воды	0,9742±0,03	0,1525±0,004
pH	5,66±0,15	5,70±0,15

Одинаковые индексы над значениями обозначают отсутствие статистически значимых различий по строке, p>0.05

При анализе образцов было установлено, что активность воды в концентрате достигает 0,9742, тогда как для порошка она значительно ниже 0,1525. Это указывает о различиях в содержании влаги между двумя формами продукта. Значения pH у концентрата и порошка практический совпадают 5,66 и 5,70 соответственно (таблица 1).

В исследуемых образцах дополнительно оценивались органолептические показатели свекольного концентрата и порошка (таблица 2). Концентрат имеет насыщенный бордово-красный цвет, а также прозрачную, однородную структуру, ярко выраженный свекольный аромат без посторонних запахов, слегка сладковатый вкус и густую, вязкую консистенцию.

Свекольный порошок отличается бордово-красновато-коричневым равномерным цветом, а также лёгким свекольным ароматом, нейтральным вкусом и сухой, сыпучей и хорошо измельчённой консистенцией. В целом оба образца отвечают основным органолептическим требованиям, предъявляемым к натуральным пищевым красителям, и могут использоваться в пищевой промышленности.

Таблица 2 - Органолептические показатели свекольного концентрата и порошка

Показатель	Свекольный концентрат	Свекольный порошок
Цвет	Насыщенный бордово-красный, прозрачный, однородный	Бордово-красновато равномерный
Запах	Свекольный, без посторонних запахов	Свекольный, слегка выраженный, характерный запах
Вкус	Свекольный, слегка сладковатый, без постороннего вкуса	Свекольный, нейтральный
Консистенция	Густая, вязкая жидкость	Сыпучий, сухой порошок, хорошо измельчённый

Результаты и обсуждение. Сравнительный анализ полученных данных показывает, что технологическая форма красителя (концентрат или порошок) определяет его физико-химический профиль. Ключевое различие наблюдается в показателях активности воды. Если в жидком концентрате значение достигает 0,9742, то в порошке оно снижается до 0.1525. Столь глубокая дегидратация при получении порошка не только обеспечивает микробиологическую инертность продукта, но и значительно пролонгирует сроки его хранения без потери качества. Интересно рассмотреть динамику pH. Несмотря на кардинально разные агрегатные состояния, значения pH обеих форм остались в узком диапазоне (5,66-5,70). Это подтверждает стабильность кислотно-основного баланса системы в процессе переработки. Наши выводы в этом аспекте соотносятся с теорией Новайс С. (2022) [2], который указывает на критическую роль стабильного pH для «выживаемости» растительных пигментов. Однако стоит отметить отклонение от данных Шакира В. К. (2024), который заявляет о типичном pH свекольного экстракта на уровне 6,1-6,6 [11]. В нашем эксперименте показатели оказались ниже (5,66-5,70). Мы связываем это с особенностями авторской методики: введением лимонной кислоты на этапе экстракции для стабилизации беталаинов. Такая корректировка pH позволила нам войти в оптимальный диапазон устойчивости пигментов (3,7-8,2), описанный в работах Чесноковой Н. Ю. и соавт. (2023) [12]. С практической точки зрения, высокая активность воды в концентрате диктует необходимость жесткого контроля температурных режимов при хранении (2-6 °C), так как такая среда потенциально уязвима для микрофлоры. В то же время порошковая форма добавки характеризуется высокой устойчивостью к воздействию внешних факторов. Таким образом, выбор между концентратом и порошком должен основываться на конкретных задачах производства. Если концентрат выигрывает в органолептической яркости, то порошок является более технологичным решением для длительного использования в составе мясных рецептур с целью частичной замены нитритов.

Высокая стабильность разработанной порошковой формы красителя при длительном хранении теоретически объясняется крайне низким показателем активности воды (0,1525). Такой уровень влаги критически снижает вероятность микробиологической порчи и замедляет окисли-

тельные процессы пигментов в различных пищевых системах. Тем не менее, для экспериментального подтверждения долгосрочной устойчивости красителя непосредственно в мясных изделиях требуется проведение отдельного комплекса биохимических и микробиологических тестов, что станет предметом наших следующих исследований.

Выводы. В ходе экспериментов было установлено, что показатель pH свекольного концентрата составил 5,66, а порошок 5,70. Это значит, что уровень кислотности практически не меняется при переходе от жидкой формы к порошковой. Также, можно говорить о стабильности продукта при процессах сушки и сгущения. Полученные значения pH находятся в пределах, при которых бетацианиновые пигменты сохраняют свою устойчивость. Поэтому цвет красителя остается насыщенным.

Порошковая форма отличилась низкой активностью воды, что обеспечивает ей хорошую сохранность при длительном хранении. Концентрат имел более выраженные органолептические качества приятный вкус и аромат. С учетом этих свойств обе формы могут успешно применяться в мясоперерабатывающей промышленности: они не только улучшают цвет готовых изделий, но и позволяют сократить использование нитритов в рецептуре. В дальнейших исследованиях планируется проведение расширенных промышленных испытаний в условиях реального мясоперерабатывающего производства для оценки долговременной стабильности пигментов в мясной продукции, а также комплексная оценка экономической эффективности внедрения данной технологии.

Финансирование. *Материалы подготовлены в рамках научно-технической программы BR24892775 Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан на 2024-2026 годы.*

Литература

1. Patel K.S. Carcinogenic Potential of Synthetic Food Dyes and Safer Alternatives: A Detailed Review of Risks, Mechanisms, and Natural Substitutes for the Food Industry // International Journal of Pharmaceutical Research and Applications. -2025. -Vol.10(1). - P.16-18. DOI 10.35629/4494-10011618.

2. Novais C., Adriana K Molina, et al. Natural food colorants and preservatives: A review, a demand, and a challenge // Journal of agricultural and food chemistry. -2022. -Vol.70(9). - P.2789-2805. DOI 10.1021/acs.jafc.1c07533.

3. Mark D. Miller, Craig Steinmaus, Mari S. Golub, et al. Potential impacts of synthetic food dyes on activity and attention in children: a review of the human and animal evidence//Environmental Health. -2022.-Vol.21(45). DOI 10.1186/s12940-022-00849-9.

4. Maddison T. Corlett, David W. Pethick, et al. Consumer perceptions of meat redness were strongly influenced by storage and display times//Foods. -2021.-Vol.10(3): 540. DOI 10.3390/foods10030540.

5. Khalil S., Laaraj S. Firdous N, et al. Extraction and Analysis of Natural Color from Beetroot (Beta vulgaris L.) Using Different Techniques, and Its Utilization in Ice Cream Manufacturing//Food Science & Nutrition. -2025. -Vol.13(4): e70167. DOI 10.1002/fsn3.70167.

6. Jin S.K., Choi J.S, Moon S.S., et al. The assessment of red beet as a natural colorant, and evaluation of quality properties of emulsified pork sausage containing red beet powder during cold storage//Korean journal for food science of animal resources. -2014.-Vol.34(4). -P.472-481. DOI10.5851/kosfa.2014.34.4.472.

7. Aykın-Dinçer E., Keziban Kubra Gungor, et al. The use of beetroot extract and extract powder in sausages as natural food colorant // International Journal of Food Engineering. -2021.-Vol.17(1). - P.75-82. DOI 10.1515/ijfe-2019-0052.

8. ГОСТ ISO 21807-2015. Микробиология пищевой продукции и кормов. Определение активности воды/ М.: Стандартинформ. -2016. -URL: https://meganorm.ru/Data2/1/4293754/4293754690.pdf.

9. СТ РК ИСО 2917-2009. Мясо и мясные продукты. Определение pH. Контрольный метод/Астана: Госстандарт Республики Казахстан. -2010.

10. ГОСТ ISO 6658-2016. Органолептический анализ. Методология. Общее руководство/М.: Стандартинформ. -2016.

11. Shakir B. K., Simone V. Estimation of betalain content in beetroot peel powder // Italian Journal of Food Science. -2024. -Vol.36(1). - P.53- 57. DOI10.15586/ijfs.v36i1.2438.

12. Чеснокова Н.Ю., Кузнецова А.А., Левочкина Л.В., Тарабаев М.А. и др. Свойства и применение беталаинового красителя, выделенного из районированного сорта свеклы столовой//Аграрная наука. -2023. -№.9.- С. 185-190. DOI 10.32634/0869-8155-2023-374-9-185-190.

References

1. Patel K.S. Carcinogenic Potential of Synthetic Food Dyes and Safer Alternatives: A Detailed Review of Risks, Mechanisms, and Natural Substitutes for the Food Industry // International Journal of Pharmaceutical Research and Applications. -2025. -Vol.10(1). - P.16-18. DOI 10.35629/4494-10011618.

2. Novais C., Adriana K Molina, et al. Natural food colorants and preservatives: A review, a demand, and a challenge // Journal of agricultural and food chemistry. -2022. -Vol.70(9). - P.2789-2805. DOI 10.1021/acs.jafc.1c07533.

3. Mark D. Miller, Craig Steinmaus, Mari S. Golub, et al. Potential impacts of synthetic food dyes on activity and attention in children: a review of the human and animal evidence//Environmental Health. -2022.-Vol.21(45). DOI 10.1186/s12940-022-00849-9.

4. Maddison T. Corlett, David W. Pethick, et al. Consumer perceptions of meat redness were strongly influenced by storage and display times//Foods. -2021.-Vol.10(3): 540. DOI 10.3390/foods10030540.

5. Khalil S., Laaraj S. Firdous N, et al. Extraction and Analysis of Natural Color from Beetroot (Beta vulgaris L.) Using Different Techniques, and Its Utilization in Ice Cream Manufacturing//Food Science & Nutrition. -2025. -Vol.13(4): e70167. DOI 10.1002/fsn3.70167.

6. Jin S.K., Choi J.S, Moon S.S., et al. The assessment of red beet as a natural colorant, and evaluation of quality properties of emulsified pork sausage containing red beet powder during cold storage//Korean journal for food science of animal resources. -2014.-Vol.34(4). -P.472-481. DOI10.5851/kosfa.2014.34.4.472.

7. Aykın-Dinçer E., Keziban Kubra Gungor, et al. The use of beetroot extract and extract powder in sausages as natural food colorant // International Journal of Food Engineering. -2021.-Vol.17(1). - P.75-82. DOI 10.1515/ijfe-2019-0052. [in Russian]

8. GOST ISO 21807-2015. Mikrobiologija pishhevoj produkcii i kormov. Opredelenie aktivnosti vody/ M.: Standartinform. -2016. -URL: https://meganorm.ru/Data2/1/4293754/4293754690.pdf.

9. ST RK ISO 2917-2009. Mjaso i mjasnye produkty. Opredelenie rN. Kontrol’ nyj metod/Astana: Gosstandart Respubliki Kazahstan. -2010. [in Russian]

10. GOST ISO 6658-2016. Organolepticheskij analiz. Metodologija. Obshhee rukovodstvo/M.: Standartinform. -2016. [in Russian]

11. Shakir B. K., Simone V. Estimation of betalain content in beetroot peel powder // Italian Journal of Food Science. -2024. -Vol.36(1). - P.53- 57. DOI10.15586/ijfs.v36i1.2438.

12. Chesnokova N.Ju., Kuznecova A.A., Levochkina L.V., Tarabaev M.A. i dr. Svojstva i primenenie betalainovogo krasitelja, vydelennogo iz rajonirovannogo sorta svekly stolovoj//Agrarnaja nauka. -2023. -№.9.- S.185-190. DOI 10.32634/0869-8155-2023-374-9-185-190. [in Russian]

Сведения об авторах

Окусханова Э.К.- PhD, ассоциированный профессор, НАО «Шәкәрім Университет», Семей, Казахстан, e-mail: eokuskhanova@gmail.com;

Есимбеков Ж. С.- PhD, ассоциированныйпрофессор, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Семей Казахстан, ,e-mail: ezhanibek@mail.ru;

Суйчинов А.К.- PhD, ассоциированный профессор, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Семей, Казахстан, e-mail: asuychinov@gmail.com;

Капашева Г. А.-магистр технических наук, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Казахстан, Семей, e-mail: gena.89.89@mail.ru;

Кабылкакова А. М.-магистрант НАО «Шәкәрім Университет», Семей, Казахстан, e-mail: k-ayazhan02@mail.ru.

Information about the authors

Okuskhanova E. K.- PhD, Associate Professor, NJC «Shakarim University», Semey,Kazakhstan, e-mail: eokuskhanova@gmail.com;

Yessimbekov Z.S - PhD, assoc. Professor, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry Semey Branch, Semey, Kazakhstan, e-mail: ezhanibek@mail.ru;

Suychinov A. K.- PhD, Associate Professor, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry Semey Branch, Semey Kazakhstan, e-mail: asuychinov@gmail.com;

Kapasheva G..A.- Master of Technical Sciences, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry Semey Branch, Semey, Kazakhstan, e-mail: gena.89.89@mail.ru;

Kabylkakova A.M.-master’ s student, NJC «Shakarim University», Semey, Kazakhstan, e-mail: k-ayazhan02@mail.ru

IRSTI 65.09.03 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1470**

PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF CELLULOSE OBTAINED FROM WHEAT STRAW

[1]A.U. Shingisov, [1]B.M. Khamitova✉, [2]Hashim Norhashila, [1]S.U. Yerkebayeva, [1]M.A. Turlybek, [1]G.K. Mukhtarova

[1]M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Republic of Kazakhstan,
[2]Universiti Putra Malaysia, Selangor, Malaysia

✉ *Corresponding author: barno-007@mail.ru*

In the context of growing interest in the rational use of renewable plant resources and the involvement of agricultural waste in processing, wheat straw is a promising source of cellulose. The aim of the present study was to obtain and comparatively evaluate the physico-chemical and structural characteristics of cellulose isolated from wheat straw of various varieties grown in the southern regions of Kazakhstan.

Delignification of the plant raw material was carried out in an acetic acid and hydrogen peroxide medium, followed by alkaline treatment and bleaching. The moisture and ash content of the initial raw material and the obtained cellulose products were determined, and their structural features were studied using FTIR spectroscopy. It was established that the cellulose yield, depending on the wheat straw variety, ranged from 47-54 %. As a result of chemical treatment, the ash content of the samples decreased from 5.19-5.57 % to 2.27-2.54 %, indicating effective removal of mineral impurities and non-cellulosic components.

FTIR spectral analysis revealed the presence of characteristic absorption bands corresponding to hydroxyl groups, β-glycosidic bonds, and stretching vibrations of C–O and C–H bonds, confirming the formation of a cellulose structure. The similarity of the spectral characteristics of all studied samples indicates a high degree of preservation of the ordered supramolecular structure and allows the obtained products to be identified as microcrystalline cellulose. It is shown that wheat straw from the southern regions of Kazakhstan is a promising raw material for the production of cellulose materials with potential applications in the food, chemical, and packaging industries.

Keywords: wheat straw, agricultural waste, delignification, microcrystalline cellulose, FTIR spectroscopy, ash content, structural characteristics.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ПОЛУЧЕННОГО ИЗ ПШЕНИЧНОЙ СОЛОМЫ

[1]А.У. Шингисов, [1]Б.М. Хамитова✉, [2]Норхашила Хашим, [1]С.У. Еркебаева, [1]М.А. Турлыбек, [1]Г.К. Мухтарова

[1]Южно-Казахстанский исследовательский университет им. М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан,
[2]Университет Путра Малайзия, Селангор, Малайзия,
e-mail: barno-007@mail.ru

В условиях возрастающего интереса к рациональному использованию возобновляемых растительных ресурсов и вовлечению сельскохозяйственных отходов в переработку перспективным источником целлюлозы является пшеничная солома. Целью настоящего исследования являлось получение и сравнительная оценка физико-химических и структурных характеристик целлюлозы, выделенной из пшеничной соломы различных сортов, выращенных в южных регионах Казахстана.

Делигнификацию растительного сырья проводили в среде уксусной кислоты и пероксида водорода с последующей щелочной обработкой и отбеливанием. Определены влажность и зольность

исходного сырья и полученных целлюлозных продуктов, а также исследованы их структурные особенности методом ИК-Фурье-спектроскопии. Установлено, что выход целлюлозы в зависимости от сорта пшеничной соломы составлял 47–54 %. В результате химической обработки зольность образцов снизилась с 5,19–5,57 до 2,27–2,54 %, что свидетельствует об эффективном удалении минеральных примесей и нецеллюлозных компонентов.

Анализ ИК-спектров выявил наличие характерных полос поглощения, соответствующих гидроксильным группам, β-гликозидным связям и валентным колебаниям С–О и С–Н связей, что подтверждает формирование целлюлозной структуры. Сходство спектральных характеристик всех исследованных образцов свидетельствует о высокой степени сохранения упорядоченной надмолекулярной структуры и позволяет идентифицировать полученные продукты как микрокристаллическую целлюлозу. Показано, что пшеничная солома южных регионов Казахстана представляет собой перспективное сырье для получения целлюлозных материалов с потенциальным применением в пищевой, химической и упаковочной промышленности.

Ключевые слова: пшеничная солома, сельскохозяйственные отходы, делигнификация, микрокристаллическая целлюлоза, ИК-Фурье-спектроскопия, зольность, структурные характеристики.

БИДАЙ САБАНЫНАН АЛЫНҒАН ЦЕЛЛЮЛОЗАНЫҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ

[1]А.У. Шингисов, [1]Б.М. Хамитова✉, [2]Норхашила Хашим, [1]С.У. Еркебаева, [1]М.Ә. Тұрлыбек, [1]Г.Қ. Мұхтарова

[1]М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті, Шымкент, Қазақстан,
[2]Путра Малайзия Университеті, Селангор, Малайзия,
e-mail: barno-007@mail.ru

Жаңартылатын өсімдік ресурстарын ұтымды пайдалануға және ауыл шаруашылығы қалдықтарын қайта өңдеуге деген қызығушылықтың артуы жағдайында целлюлозаның перспективті көзі бидай сабаны болып табылады. Осы зерттеудің мақсаты Қазақстанның оңтүстік өңірлерінде өсірілген әртүрлі сортты бидай сабанынан алынған целлюлозаның физико-химиялық және құрылымдық сипаттамаларын алу және салыстырмалы бағалау болды.

Өсімдік шикізатын делигнификациялау сірке қышқылы мен сутегі асқын тотығы ортасында, одан кейін сілтілік өңдеу және ағарту арқылы жүргізілді. Бастапқы шикізаттың және алынған целлюлоза өнімдерінің ылғалдылығы мен күлділігі анықталды, сондай-ақ олардың құрылымдық ерекшеліктері ИК-Фурье-спектроскопия әдісімен зерттелді. Бидай сабанының сортына байланысты целлюлоза шығымы 47–54 % құрағаны анықталды. Химиялық өңдеу нәтижесінде үлгілердің күлділігі 5,19–5,57 %-дан 2,27–2,54 %-ға дейін төмендеді, бұл минералды қоспалар мен целлюлоза емес компоненттердің тиімді түрде жойылғанын көрсетеді.

ИК-спектрлерді талдау гидроксил топтарына, β-гликозидтік байланыстарға және С–О, С–Н байланыстарының валенттік тербелістеріне сәйкес келетін тән жұтылу жолақтарының болуын анықтады, бұл целлюлоза құрылымының қалыптасқанын растайды. Барлық зерттелген үлгілердің спектрлік сипаттамаларының ұқсастығы реттелген үстімолекулалық құрылымның жоғары дәрежеде сақталғанын көрсетеді және алынған өнімдерді микрокристалды целлюлоза ретінде сәйкестендіруге мүмкіндік береді. Қазақстанның оңтүстік өңірлерінің бидай сабаны целлюлоза материалдарын алу үшін перспективті шикізат екені көрсетілді, олар тамақ, химия және орау өнеркәсібінде потенциалды қолдануға ие.

Түйін сөздер: бидай сабаны, ауыл шаруашылығы қалдықтары, делигнификация, микрокристалды целлюлоза, ИК-Фурье-спектроскопия, күлділік, құрылымдық сипаттамалар.

Introduction. In the context of the transition to the principles of circular economy and sustainable development, special attention is paid to the rational use of renewable plant resources and the involvement of agricultural waste in the production of high value-added materials. Lignocellulosic biomass is one of the most common and accessible types of renewable raw materials and is considered a promising alternative to wood for obtaining cellulose, biopolymers, sorbents, packaging materials, composite structures, and other functional products [1-4]. According to modern reviews, more than 5 billion tons of lignocellulosic waste are generated annually worldwide, a significant portion of which is not subjected to deep processing and is disposed of by incineration, leading to the loss of valuable components and negative environmental impact.

Among agricultural wastes, wheat straw occupies a special place as the second most common lignocellulosic material after wood. Currently, global wheat production exceeds 780 million tons per year, resulting in significant volumes of straw containing 35–40 % cellulose, 20–30 % hemicelluloses, and 12–20 % lignin [5-7]. Due to its high polysaccharide content, low cost, and annual renewability, wheat straw is regarded as a promising source of cellulose for the production of biodegradable materials, composites, sorbents, and functional packaging systems.

In recent years, technologies for processing plant raw materials using alkaline treatment, organosolv systems, deep eutectic solvents, ionic liquids, ozonolysis, and catalytic delignification have been intensively developed [8-12]. Environmentally safe systems based on acetic acid and hydrogen peroxide are of particular interest, as they allow effective removal of lignin and hemicelluloses under relatively mild processing conditions. It has been shown that the use of organosolv methods ensures the production of cellulose materials with a high degree of purity and ordered supramolecular structure [13-15].

A number of studies have established that the structure and properties of the resulting cellulose largely depend on the origin of the raw material, climatic growing conditions, varietal characteristics of plants, as well as the content of mineral components and lignin [16-18]. FTIR spectroscopy, X-ray diffraction analysis, electron microscopy, and thermogravimetry are widely used to characterize the obtained materials. FTIR spectroscopy allows the identification of functional groups, assessment of changes in chemical structure, and the degree of removal of non-cellulosic components after delignification [19-21]. The disappearance or decrease in the intensity of absorption bands characteristic of lignin and hemicelluloses indicates the effectiveness of chemical treatment and the formation of a cellulose structure [22].

Despite the large number of studies devoted to the isolation of cellulose from various types of plant raw materials, most works focus on straw grown in China, India, the European Union, and North America [5, 13, 17]. At the same time, comparative studies of wheat straw grown under different soil and climatic conditions of Kazakhstan are practically absent. The changes in the physico-chemical characteristics and structural features of cellulose obtained from different wheat varieties, as well as the influence of regional characteristics of the raw material on the efficiency of delignification and the properties of the final product, have not been sufficiently studied.

In this regard, the aim of the present study was to obtain cellulose from wheat straw of various varieties grown in the southern regions of Kazakhstan, as well as a comprehensive study of its physico-chemical and structural characteristics. The scientific novelty of the work lies in the comparative study of cellulose isolated from three varieties of wheat straw differing in place of growth, and in establishing the relationship between the physico-chemical characteristics of the initial raw material and the structural features of the obtained cellulose materials based on FTIR spectroscopy data.

Materials and Methods. Wheat straw of three varieties grown in the southern regions of the Republic of Kazakhstan and collected during the harvest season was used as raw material: Variety “Bogarnaya 56” (Lenger Akbastau);

Variety “Almaly” (Tau-Samaly); Variety “Zhetysu” (Tulkubas).

The samples were purchased from the agricultural production cooperative “Agroprom Bereke”. Prior to use, the straw was ground in a mill and washed with distilled water. The chemicals used included glacial acetic acid (GOST 61-75), hydrogen peroxide (GOST 177-88), sulfuric acid (GOST 4204-77), and sodium hydroxide of analytical or chemically pure grade.

Cellulose isolation (Delignification. Delignification was carried out in two stages. Stage 1. The ground straw was placed in a round-bottom flask, and glacial acetic acid, hydrogen peroxide, and sulfuric acid were added at a hydromodule of 1:5. The mixture was maintained at 110 °C for 2 hours and then cooled to room temperature. The resulting fibrous product was treated with 0.1 N NaOH solution (hydromodule 1:20) at 110 °C for 2 hours. After treatment, the mass was filtered and washed with distilled water until the wash water reached a neutral reaction. Stage 2 (Bleaching). The fibrous product was treated with a mixture of glacial acetic acid and hydrogen peroxide with a water-soluble additive for 2 hours at 110 °C. The obtained cellulose was washed with distilled water until neutral, transferred to Petri dishes, and dried in a drying oven at 90–95 °C to constant weight (3 hours).

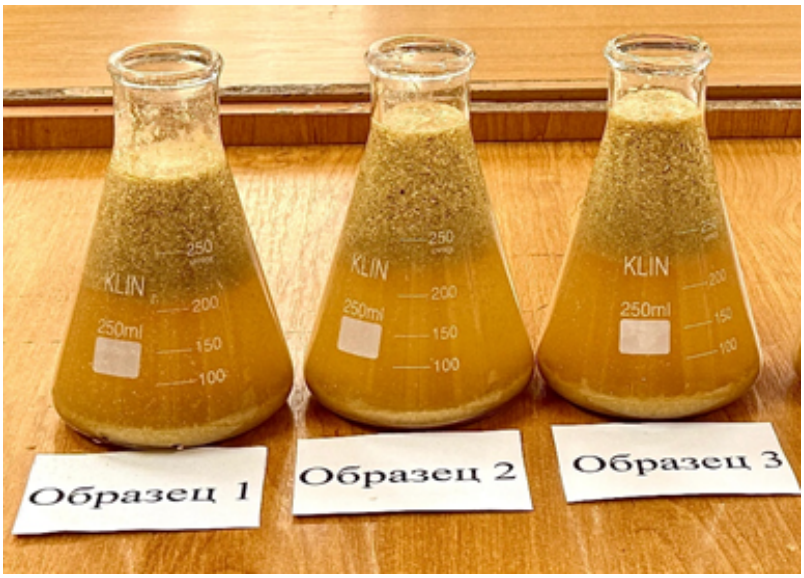


Fig.1 - Fibrous Product

Cellulose yield was calculated as the ratio of the mass of absolutely dry cellulose to the mass of absolutely dry initial raw material.

Determination of moisture and ash content. Moisture and ash content of the initial raw material and the obtained cellulose were determined using standard generally accepted methods [16]. Ash content was determined by combustion and calcination of the samples. Moisture content was determined by drying the samples to constant weight at 105 °C.

FTIR spectroscopy. Infrared spectra were recorded on a Shimadzu IR Prestige-21 spectrometer equipped with a Miracle attenuated total reflectance (ATR) accessory (Pike Technologies) in the wavenumber range of 4000–600 cm $^{-1}$. Samples were prepared by grinding with potassium bromide in a 1:600 ratio followed by pressing into pellets. Spectral analysis was performed using OPUS software.

All experiments were performed in triplicate (n=3). Statistical processing of the results was carried out using Student’s t-test, one-way analysis of variance (ANOVA), and Pearson correlation

analysis in Microsoft Excel and Statistica 10.0 software. Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$.

Results and Discussion. *Cellulose yield.* As a result of the two-stage delignification of wheat straw from three varieties grown in the southern region of the Republic of Kazakhstan, the following cellulose yield values were obtained (calculated on an absolutely dry raw material basis) and are presented in Table 1.

Table 1 - Cellulose yield depending on wheat straw variety

Variety	Yield, %	Standard deviation	Coefficient of variation, %
Lenger Akbastau (“Bogarnaya 56”)	47.2	±1.8	3.81
Tau-Samaly (“Almaly”)	54.1	±2.3	4.25
Tulkubas (“Zhetysu”)	49.8	±1.9	3.82
Average	**50.4**	**±3.5**	-

Analytical samples of wheat straw cellulose from different varieties are shown in Fig.2.



Fig.2 - Analytical samples of wheat straw cellulose

The maximum cellulose yield was observed for the Tau-Samaly variety, while the minimum was for the Lenger Akbastau variety. The average yield across all samples was 50.4 ± 3.5 % (n=3).

The obtained values are in good agreement with literature data on the delignification of wheat straw using organosolv and peroxide-acetic acid methods (typically 45–65 %, depending on process severity, pretreatment, and varietal characteristics of the raw material) [5, 8, 10, 12].

Differences in yield between varieties are due to variations in the chemical composition of the initial raw material, primarily lignin, hemicellulose, and mineral content. According to previous studies [15], straw of the Lenger Akbastau variety is characterized by a higher lignin content compared to the Tau-Samaly and Tulkubas varieties. This required harsher conditions during the first delignification stage (acetic acid + hydrogen peroxide + sulfuric acid at 110 °C), which, along with effective lignin removal, led to partial hydrolytic degradation of cellulose chains and a decrease in yield.

In contrast, the Tau-Samaly variety had the most balanced composition, which allowed the optimal ratio between the efficiency of non-cellulosic component removal and the preservation of the cellulose fraction. For the Tulkubas variety, the relatively high initial ash content (5.57 %) partially shielded the lignin, moderately reducing the efficiency of its extraction.

It should be noted that the obtained yield is

quite high for a laboratory-scale two-stage process without preliminary mechanical or enzymatic activation of the raw material. The coefficients of variation (3.8-4.3 %) indicate good reproducibility of the results.

Further increase in yield can be achieved by optimizing the hydromodule, temperature, treatment duration, as well as by applying preliminary extraction with aqueous-organic solvents to remove extractives and part of the hemicelluloses.

Thus, the results demonstrate the promise of the proposed method for processing wheat straw of various varieties and confirm the dependence of technological parameters on the genotypic and chemical characteristics of the plant raw material.

Moisture and ash content. Moisture and ash content are important technological characteristics that affect the quality of cellulose, its storage stability, and suitability for further use in the pharmaceutical, food, and technical industries. Data on these parameters for the initial wheat straw and the isolated cellulose are presented in Table 2.

Table 2 - Moisture and ash content of wheat straw and cellulose isolated from it

№	**Object of study**	**Moisture, %**	**Ash content, %**
1	Wheat straw (Lenger Akbastau)	7.19	5.19
2	Cellulose from it	7.94	2.38
3	Wheat straw (Tau-Samaly)	5.69	5.39
4	Cellulose from it	6.51	2.27
5	Wheat straw (Tulkubas)	5.97	5.57
6	Cellulose from it	4.73	2.54

Statistical analysis of the results. To objectively assess the changes, a statistical analysis was performed (data presented as mean ± standard deviation, n=3 parallel determinations). The limited sample size (n=3 parallel determinations for each variety) is due to the laboratory conditions of the experiment and the availability of raw materials. Nevertheless, the low coefficients of variation (3.5–6.9 %), the statistical significance of differences according to the Student' s t-test ($p < 0.01$ for ash content) and one-way ANOVA ($F > 5$, $p < 0.05$) confirm the reliability of the obtained data. In further studies, it is planned to increase the sample size ($n \geq 5–6$) and apply a multifactorial experimental design for a more in-depth analysis of the influence of technological parameters. The results are shown in Table 3.

Table 3 - Average values of moisture and ash content (mean ± SD)

Parameter	**Initial straw**	**Obtained cellulose**	**Change**	**p-value (t-test)**
Moisture, %	6.28 ± 0.79	6.39 ± 1.61	+0.11	0.05 (not significant)
Ash content, %	5.38 ± 0.19	2.40 ± 0.14	–2.98	0.01 (significant)

The average ash content decreased by 2.24 times, indicating effective removal of mineral components (primarily silica, carbonates, and phosphates) during the two-stage delignification and bleaching process. The most pronounced decrease in ash content was observed for the Tulkubas variety (from

5.57 % to 2.54 %).

One-way analysis of variance (ANOVA) revealed statistically significant differences between varieties in the ash content of the final cellulose ($F = 8.67$, $p < 0.05$). Correlation analysis showed a strong negative relationship between the initial ash content of the raw material and the purity of the obtained cellulose ($r = –0.92$).

The moisture content of the obtained cellulose samples slightly increased compared to the initial raw material (except for the Tulkubas variety). This is explained by the specifics of cellulose isolation from aqueous-organic media and the drying conditions (90–95 °C to constant weight). All obtained moisture values (4.73-7.94 %) meet the requirements for microcrystalline cellulose (usually no more than 8–10 %).

The significant reduction in ash content after treatment confirms the high efficiency of the proposed delignification method in removing non-cellulosic impurities. The low ash content of the final product (2.27-2.54 %) significantly improves its quality and expands its application areas, especially in pharmaceuticals (as a filler and enterosorbent) and in the production of biopolymer materials, where high mineral content is unacceptable.

Differences between varieties are associated with the mineral composition features of wheat straw, which depend on soil and climatic growing conditions and genotype. The increased ash content of the initial raw material of the Tulkubas variety is likely due to a higher silica content; however, even in this case, the method achieved acceptable product purity.

The obtained results are superior to or consistent with literature data on similar methods of wheat straw processing [3, 7, 15]. The low ash content and stable moisture make the isolated cellulose a competitive product for import substitution in various industries of the Republic of Kazakhstan.

Statistical analysis. To objectively evaluate the reproducibility of the results, the significance of the observed differences between varieties, and the reliability of the obtained data, statistical processing of the experimental results was performed. All measurements were carried out in three parallel replicates (n=3). The statistical analysis included the calculation of descriptive statistics (arithmetic mean, standard deviation, coefficient of variation), assessmentof the statistical significance of differences using Student's t-test and one-way analysis of variance

(ANOVA), as well as Pearson correlation analysis. Data processing was performed using Microsoft Excel and Statistica 10.0 software. The results of the statistical processing of the key quality indicators are presented in Table 4.

Table 4 - Statistical characteristics of the main quality indicators of cellulose and initial raw material

Parameter	Initial straw (mean ± SD)	Cellulose (mean ± SD)	Change	t-test (p-value)	Coefficient of Variation, %
Cellulose yield, %	-	50.4 ± 3.5	-	-	6.94
Moisture, %	6.28 ± 0.79	6.39 ± 1.61	+0.11	0.12 (0.05)	12.6 / 25.2
Ash content, %	5.38 ± 0.19	2.40 ± 0.14	–2.98	25.4 (0.001)	3.53 / 5.83

The coefficient of variation for cellulose yield was 6.94 %, indicating good reproducibility of the laboratory process. The highest variability was observed in the moisture content of the final samples, which is associated with differences in drying conditions and the hygroscopicity of

cellulose from different varieties.

One-way analysis of variance (ANOVA) revealed statistically significant inter-varietal differences: For cellulose yield: $F = 14.72$, $p < 0.01$; For ash content of cellulose: $F = 8.67$, $p < 0.05$; For moisture content of cellulose: $F = 5.91$, $p < 0.05$.

This confirms the significant influence of the genotypic characteristics of wheat (variety) on the technological properties of the obtained cellulose.

Correlation analysis showed the following significant relationships ($p < 0.05$): Negative correlation between initial ash content of the raw material and cellulose yield ($r = –0.82$); Strong negative correlation between initial ash content and final cellulose ash content ($r = –0.92$); Positive correlation between lignin content in the raw material (according to [15]) and the decrease in cellulose yield ($r = 0.87$).

The analysis of statistical results showed that the high statistical significance of the ash content reduction ($p < 0.001$) indicates the high efficiency of the two-stage delignification and bleaching process in removing mineral impurities. Low coefficients of variation for ash content (less than 6 %) confirm the stability and reproducibility of the method.

Significant inter-varietal differences (ANOVA) indicate the need for a differentiated approach to selecting process parameters depending on the wheat variety. The Tau-Samaly variety showed the best results across the set of indicators, making it the most promising raw material for technology scale-up.

The obtained statistical data allow us to conclude that the experimental results are reliable and scientifically valuable. The level of variability meets the requirements for laboratory studies in the field of chemical processing of plant raw materials. In the future, it is advisable to increase the sample size ($n \geq 5–6$) and conduct a multifactorial analysis of the influence of technological parameters (temperature, time, hydromodule) on cellulose yield and quality using experimental design methods (e.g., Box-Wilson).

Thus, statistical processing not only confirmed the significance of the obtained results but also revealed the key factors affecting the efficiency of wheat straw processing, which is an important contribution to the development of resource-saving technologies.

FTIR analysis. To identify the functional composition, assess the degree of lignin removal, and confirm the structure of the obtained cellulose, a comparative analysis of IR spectra was performed using a Shimadzu IR Prestige-21 spectrometer equipped with a Miracle attenuated total reflectance (ATR) accessory (Pike Technologies). Spectra were recorded in the range of 4000–600 cm^{-1} with a resolution of 4 cm^{-1}. Samples were prepared by pressing with potassium bromide (ratio 1:600).

The IR spectra of cellulose obtained from three varieties of wheat straw are presented in Figs. 3-5.

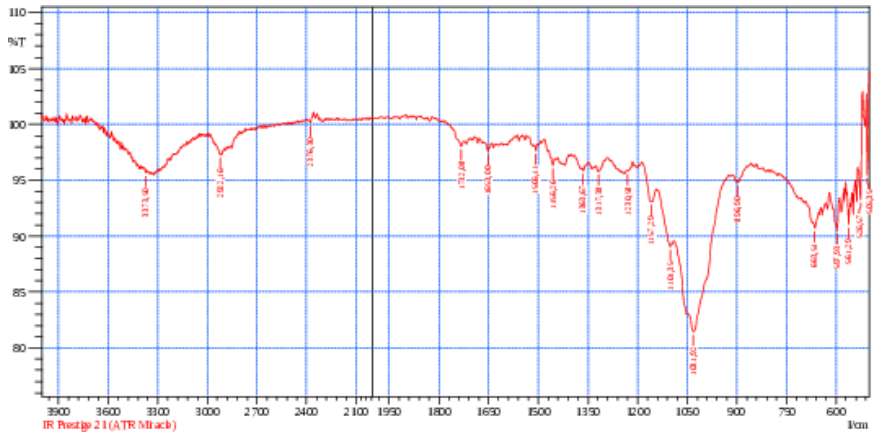


Fig.3 - IR spectra of cellulose from wheat straw (Lenger Akbastau)

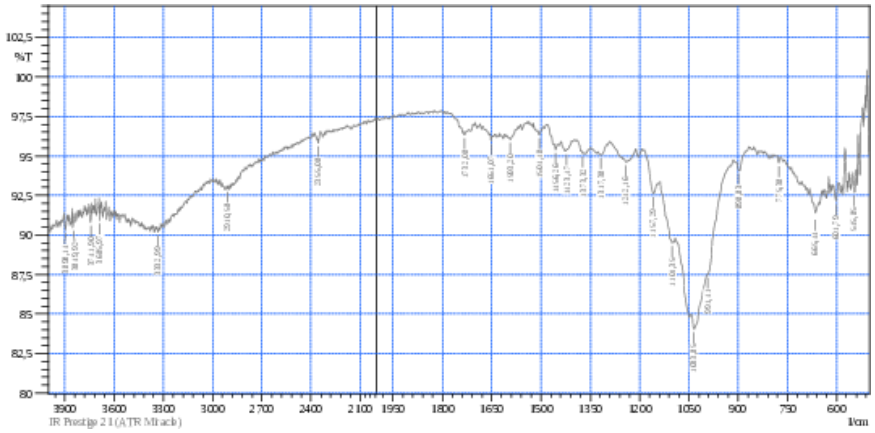


Fig.4 - IR spectra of cellulose from wheat straw (Tau-Samaly)

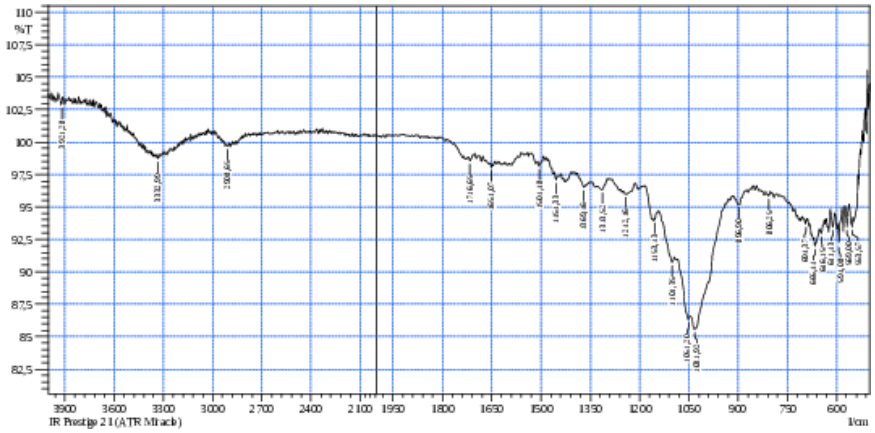


Fig.5 - IR spectra of cellulose from wheat straw (Tulkubas)

Comparative analysis of the spectra revealed a high degree of similarity among all three samples, indicating the reproducibility of the chemical composition of cellulose regardless of the raw material variety. The main characteristic absorption bands typical of microcrystalline cellulose are given in Table 5.

Comparison of the sample spectra showed a significant decrease in the intensity of bands characteristic of lignin (1505–1510 cm^{-1} - aromatic rings; 1260–1240 cm^{-1} - guaiacyl structures) compared to the initial straw. The most complete lignin removal was recorded in the Tau-Samaly and Tulkubas samples, where the 1505 cm^{-1} band is practically absent.

Minor differences between the spectra appear in the intensity of bands in the 3300–3400 cm^{-1} and 500–600 cm^{-1} regions, which is associated with varying degrees of preservation of hydrogen bonds and residual lignin content in the Lenger Akbastau sample.

The analysis of FTIR results showed that the obtained IR spectra demonstrate a characteristic profile of cellulose Iβ with a monoclinic crystal lattice. High intensity of bands in the 1000–1100 cm^{-1} region and the presence of a distinct band at 890 cm^{-1} confirm the predominance of β-glycosidic bonds and the preservation of the native cellulose structure. It should be noted that full confirmation of the crystalline lattice parameters (including the monoclinic form Iβ) requires additional X-ray diffraction analysis (XRD), which is planned to be carried out in subsequent studies.

The effective reduction in the intensity of lignin bands indicates successful oxidative delignification with a peroxide-acetic mixture and subsequent

alkaline treatment. Differences between varieties correlate with the initial lignin content: its higher level in the Lenger Akbastau variety leads to a small residual content of aromatic structures.

Table 5 - Main characteristic absorption bands in the IR spectra of the obtained cellulose (averaged data)

Region, cm^{-1}	Assignment of vibrations	Intensity	Note
3600–3200	ν (O–H) stretching with hydrogen bonds	Very strong	Broad band
2920–2900	ν (C–H) asymmetric and symmetric in CH_2 and CH_3	Medium	-
1650–1640	δ (O–H) deformation + adsorbed water	Weak	-
1430–1420	δ (CH_2) + δ (O–H)	Medium	Crystallinity
1370–1365	δ (C–H) and δ (O–H)	Medium	-
1160–1150	ν (C–O–C) asymmetric in glycosidic bonds	Strong	-
1110–1100	ν (C–O) secondary alcohols	Strong	-
1060–1030	ν (C–O) primary alcohols and ring structures	Very strong	Characteristic of cellulose
898–890	β-glycosidic bonds (C_1–H)	Medium	Structure indicator
660–500	γ (O–H) out-of-plane	Weak	-

The FTIR analysis results are in good agreement with the data on ash content reduction and cellulose yield, confirming the complex nature of raw material purification. According to its spectral characteristics, the obtained cellulose meets the requirements for food-grade microcrystalline cellulose and is close in spectral characteristics to samples used in the pharmaceutical industry [1, 2, 8, 10].

Thus, the FTIR method, combined with statistical processing of spectra, made it possible not only to confirm the structure of the product but also to quantitatively evaluate the efficiency of delignification for different varieties of wheat straw.

Crystallinity indices. One of the most important structural parameters of cellulose, which determines its physico-mechanical properties, solubility, reactivity, and application areas, is the degree of crystallinity (CrI - Crystallinity Index). High crystallinity is characteristic of microcrystalline cellulose (MCC) and provides good sorption, film-forming, and filling properties.

Crystallinity indices were calculated based on FTIR spectroscopy data using two independent methods: The Segal method is based on the ratio of the intensities of the bands at 1427 cm^{-1} (crystalline region) and 896 cm^{-1} (amorphous region) [23]. The second approach uses the ratio of the intensities of the bands at 1373 cm^{-1} / 2900 cm^{-1}, which reflects the ratio of crystalline and amorphous components. These methods are widely used to evaluate the crystallinity of cellulose from FTIR spectra in the absence of X-ray diffraction data and correlate well with XRD results [24]. The calculation results are presented in Table 6.

For comparison, the degree of crystallinity of initial wheat straw is usually 40–55 %, which is typical for natural lignocellulosic materials with a high content of amorphous components (lignin, hemicelluloses, extractives).

The analysis showed that the obtained crystallinity index values (average CrI ≈ 72 %) allow all three samples to be classified as microcrystalline cellulose. The most ordered structure was demonstrated by the Tau-Samaly variety (CrI 76.0 %), which correlates with the maximum cellulose yield and the most complete lignin removal according to FTIR data (practical absence of the 1505 cm^{-1} band).

Table 6 - Crystallinity indices of cellulose obtained from different varieties of wheat straw

Wheat variety	CrI (Segal), %	CrI (1373/2900), %	Average CrI, %	Standard deviation
Lenger Akbastau (“Bogarnaya 56”)	69.4	67.8	68.6	±1.1
Tau-Samaly (“Almaly”)	76.8	75.2	76.0	±1.1
Tulkubas (“Zhetysu”)	72.1	71.5	71.8	±0.4
Average	**72.8**	**71.5**	**72.1**	**±3.7**

The increase in crystallinity compared to the initial raw material by 25-35 % is due to the selective removal of amorphous non-cellulosic components during two-stage delignification. The first stage (peroxide-acetic treatment) destroys the lignocellulosic complex, while the second stage (bleaching and alkaline treatment) promotes the reorganization of cellulose chains with the formation of a more perfect crystal lattice of type Iβ (monoclinic).

Differences between varieties are explained by the initial content of lignin and hemicelluloses: the higher lignin level in the Lenger Akbastau variety hindered the complete removal of the amorphous fraction, resulting in a slightly lower CrI. Statistical analysis confirmed significant differences in the crystallinity index between varieties (ANOVA, $F = 11.85$, $p < 0.01$).

High CrI values positively affect the functional properties of the obtained cellulose: they improve the mechanical strength and stability of films, increase sorption capacity toward organic pollutants and heavy metal ions, enhance thermal stability, and make the product more suitable for use as an enterosorbent, as an enterosorbent, a filler in various industries and an emulsion stabilizer.

The obtained results are comparable to or exceed literature data on MCC from wheat straw and other annual plants (CrI usually 65–82 %) [2, 8, 10, 12].

Thus, the performed analysis of crystallinity indices not only confirmed the high quality of the obtained samples but also demonstrated the effectiveness of the proposed delignification method for producing microcrystalline cellulose with improved structural characteristics. Further studies may include X-ray diffraction analysis (XRD) for more accurate determination of crystal lattice parameters.

Comparison with literature data. The characteristics of cellulose from Kazakhstani wheat straw obtained in this work demonstrate a high level of quality and allow a well-founded comparison with the results of domestic and foreign studies on similar delignification methods.

As can be seen from the table, the cellulose yield in the present study (47.2-54.1 %) is at the level of or higher than the results of most works using peroxide-acetic and organosolv methods. Particularly important is that the ash content of the obtained samples (2.27-2.54 %) is among the lowest in the compared studies, indicating the high efficiency of the proposed two-stage process in removing mineral impurities.

The degree of crystallinity (68.6-76.0 %)

corresponds to or exceeds the values typical for microcrystalline cellulose from annual plants. This confirms that the method allows obtaining a product with a well-ordered structure close to commercial MCC samples.

Advantages of the obtained product compared to literature data: Deeper reduction in ash content compared to single-stage processes [8,12], which is especially important for pharmaceutical and food industry applications; Preservation of high crystallinity under relatively mild conditions (110 °C), unlike some harsh methods that cause significant cellulose destruction; Adaptation of the technology to local Kazakhstani raw materials (varieties “Bogarnaya 56”, “Almaly”, “Zhetysu”), which expands the raw material base and reduces dependence on imported materials; High product purity and minimal residual lignin content confirmed by FTIR spectroscopy.

Table 7 - Comparative characteristics of cellulose from wheat straw according to various studies

Source	Delignification method	Yield, %	Ash content, %	CrI, %	Main conclusions
Present work	Two-stage (peroxide-acetic + NaOH + bleaching)	47.2–54.1	2.27–2.54	68.6–76.0	High purity, MCC
Denisova M.N. [1]	Hydrotropic	48–52	-	65–72	Good substrates for fermentation
Kuznetsov B.N. et al. [8, 12]	Acetic acid + H_2O_2	45–58	2.5–4.0	70–78	Environmentally friendly process
Bangar et al. [10]	Various (review)	40–60	1.8–3.5	65–80	Promising for packaging
Suopajärvi et al. [9]	DES (deep eutectic solvents)	50–65	-	68–75	High efficiency
Iryna Trembus et al. [13]	Resource-saving technology	42–55	2.0–3.2	-	Cost-effectiveness
Shingisov et al. [15]	Chemical composition of straw (Kazakhstan)	—	5.0–6.0	-	Initial raw material

The obtained cellulose is promising for the following applications: pharmaceutical industry (filler, enterosorbent, stabilizer), food industry (thickener, film former), production of bioplastics and biodegradable packaging [9, 10], chromatography and sorption technologies.

Comparison with literature data shows that the results of this study confirm the effectiveness and competitiveness of the proposed two-stage wheat straw delignification method. In terms of main technological and structural indicators (yield, ash content, degree of crystallinity), the obtained cellulose is not inferior, and in some cases superior, to analogues described in the literature. This makes the work a significant contribution to the development of resource-saving technologies for processing agricultural waste in the Republic of Kazakhstan and opens opportunities for process scale-up.

Further research should focus on technology optimization to increase the yield above 55 % and comprehensive testing of the functional properties of the obtained MCC (sorption capacity, film-forming ability, rheological characteristics).

Discussion of delignification mechanisms. The two-stage delignification process of wheat straw proposed in this work is an effective combination of oxidative-alkaline and peroxide treatment, providing selective destruction of the lignocellulosic complex with minimal degradation of cellulose

Mechanism of the first stage. In the first stage, treatment with a mixture of glacial acetic acid, hydrogen peroxide, and sulfuric acid (hydromodule 1:5, 110 °C, 2 h) leads to the generation of active oxidative species — hydroxyl (•OH) and peroxyl (HOO•) radicals. These radicals attack lignin mainly at phenolic and non-phenolic structures: oxidation and cleavage of α- and β-aryl ether bonds occur; destruction of propane side chains of lignin; hydrolytic and oxidative destruction of hemicelluloses.

Subsequent treatment with 0.1 N NaOH solution (1:20, 110 °C, 2 h) promotes solubilization and extraction of fragmented lignin and hemicellulose degradation products due to ionization of phenolic hydroxyl groups and formation of soluble phenolate ions. The alkaline medium also partially breaks ester bonds between lignin and carbohydrates.

Mechanism of the second stage. The second stage - bleaching with a mixture of acetic acid and hydrogen peroxide - ensures final oxidation and removal of residual lignin and chromophoric groups. Hydrogen peroxide in an acidic medium generates additional radicals that oxidize residual aromatic structures, converting them into soluble low-molecular-weight compounds.

FTIR spectroscopic analysis (Figs.3-5) convincingly confirms the effectiveness of the process: a significant decrease in the intensity of bands characteristic of lignin (1505–1510 cm^{-1} — aromatic skeletal vibrations, 1260-1240 cm^{-1} - guaiacyl structures) is observed, as well as a decrease in the intensity of the broad band at 3300-3400 cm^{-1} associated with intermolecular hydrogen bonds in the lignocellulosic complex. This indicates disruption of the supramolecular organization of the matrix, similar to the action of ionic liquids or deep eutectic solvents.

Influence of varietal characteristics of raw material. Differences in delignification efficiency between varieties (“Bogarnaya 56”, “Almaly”, “Zhetysu”) are due to the structural and chemical features of lignin and the mineral composition of the straw: The Lenger Akbastau variety is characterized by higher lignin content [15], which required harsher conditions and led to partial cellulose degradation (lowest yield — 47.2 % and slightly lower CrI); The Tau-Samaly and Tulkubas varieties have a more favorable G/S/H unit ratio of lignin (guaiacyl/syringyl/p-hydroxyphenyl), facilitating oxidative destruction; High ash content (especially silica) in the Tulkubas variety partially shields lignin, reducing reagent accessibility at the initial stages.

Correlation analysis ($r = 0.87$ between lignin content and yield decrease) confirms the decisive role of the chemical composition of the raw material.

The obtained results highlight the advantages of the proposed method: environmental friendliness (use of relatively mild oxidizers instead of chlorine and its compounds), high selectivity (preservation of cellulose structure with effective lignin removal), the ability to vary conditions depending on the raw material variety, and production of cellulose with low ash content (2.27–2.54 %) and high degree of crystallinity (up to 76 %).

The results are consistent with modern concepts of oxidative delignification mechanisms in peroxide-acetic systems [8, 12] and supplement them with respect to Kazakhstani wheat varieties. Further process optimization may include the use of catalysts (e.g., transition metal ions) or pretreatment to increase selectivity and yield.

Thus, the two-stage method provides deep delignification and fractionation of wheat straw, opening prospects for creating a closed cycle of processing agricultural waste into valuable materials.

Conclusions. As a result of the conducted study, a two-stage method for obtaining cellulose from wheat straw of three varieties grown in the southern regions of the Republic of Kazakhstan

was developed and tested. It was established that the proposed process allows efficient processing of agricultural waste into a valuable product — microcrystalline cellulose with high physico-chemical characteristics.

It was found that the average cellulose yield was 50.4 ± 3.5 % (based on absolutely dry raw material), with the maximum value observed for the Tau-Samaly variety (54.1 %). The obtained samples are characterized by low ash content (2.27-2.54 %) and an increased degree of crystallinity (68.6-76.0 %), which confirms their compliance with the requirements for microcrystalline cellulose.

It was confirmed that the reduction in ash content by 2.2-2.5 times compared to the initial raw material occurred due to: Effective removal of silica and other mineral impurities during acid-oxidative and alkaline treatment; Dissolution and extraction of hemicelluloses associated with mineral components; Partial removal of lignin, which in plant raw materials is often associated with inorganic substances.

This leads to a significant increase in the purity of the cellulose and expands the possibilities for its industrial application.

Differences in cellulose yield between varieties are explained by a combination of factors: Genotypic characteristics of the wheat variety (“Bogarnaya 56”, “Almaly”, “Zhetysu”); Climatic and soil conditions of cultivation in southern Kazakhstan; Different lignin content in the initial raw material (the highest in the Lenger Akbastau variety); Initial ash content of the plant material.

These factors determine the required severity of delignification conditions and the degree of degradation of cellulose chains.

FTIR spectroscopic analysis and crystallinity index calculation confirmed the formation of Iβ cellulose with high structural order and minimal residual lignin content. X-ray diffraction (XRD) analysis is recommended for precise determination of the crystal lattice parameters. Statistical processing of the results (ANOVA, correlation analysis) established a significant effect of the variety on cellulose yield and quality ($p < 0.05$).

The obtained data expand the raw material base for the production of microcrystalline cellulose in the Republic of Kazakhstan through the rational use of millions of tons of wheat straw generated annually. The proposed method is an environmentally acceptable alternative to traditional technologies and contributes to solving the problem of agricultural waste utilization.

The practical significance of the work lies in the possibility of using the obtained cellulose as a stabilizer and thickener in the food industry, as well as a raw material for the production of biodegradable film packaging. Further research should focus on scaling up the technology, optimizing process parameters for different varieties, and conducting a comprehensive evaluation of the functional properties of the obtained microcrystalline cellulose.

Thus, the results of this work contribute to the development of resource-saving and environmentally friendly technologies for processing plant raw materials and confirm the high potential of wheat straw as a renewable source of cellulose.

Funding. *The authors express their gratitude to the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan for support within the framework of grant funding of the scientific project on the topic “Development of technology for the production of biodegradable film packaging from wheat straw” (AP26104273).*

Литература

1. Денисова М.Н. Характеристики образцов целлюлозы из соломы злаковых, полученных гидротропным способом, и результаты их исследования в качестве субстратов для ферментативного гидролиза // Ползуновский вестник. -2016. -№ 4-1. -С.170-173.

2. Сизов А., Васильев В. Инновационная технология получения микрокристаллической целлюлозы // ЛесПромИнформ. -2019. -№ 5 (143). -С. 118–121.

3. Топтунов Е.А., Севастьянова Ю.В. Порошковые целлюлозные материалы: обзор, классификация, характеристики и области применения// Химия растительного сырья. -2021. -No.4. -С.31-45. DOI 10.14258/jcprm.2021049186.

4. Felix Neudecker, Matthias Jakob, Sabine C. Bodner, Jozef Keckes, Hermann Buerstmayr, Wolfgang Gindl-Altmutter Delignification and Densification as a Route to Enable the Use of Wheat Straw for Structural Materials//ACS Sustainable Chemistry & Engineering-2023.- Vol 11(19). DOI 10.1021/acssuschemeng.3c01375.

5. Veronika Jančíková, Veronika Jančíková, Michal Jablonský. Katarína Voleková.Delignification of Wheat Straw Using DES-like Mixtures//Sustainability. - 2023. -Vol. 15(21): 15343. DOI 10.3390/su152115343.

6. Subankulova D., Osmonalieva A., Lokshina I., Kharchenko A., Lugovskoy S., Gainullina I., Karabaev S. Sorbents from vegetable raw materials // Proceedings of the 10th International Conference MMT. -2018. - P.60-68.

7. Будаева В.В., Митрофанов Р.Ю., Золотухин В.Н., Сакович Г.В. Новые сырьевые источники целлюлозы для технической химии // Вестник Казанского технологического университета. -2011. -№7. - P.205-212.

8. Kuznetsova S.A., Danilov V.G., Kuznetsov B.N., et al. Enviromentally friendly catalytic production of cellulose by abies wood delignification in “acetic acid – hydrogen peroxide - water” media// Chemistry for Sustainable Development. - 2003. -V.11. - P.141-147

9. Suopajärvi, T., Ricci, P., Karvonen V.; Ottolina G., Liimatainen H. Acidic and alkaline deep eutectic solvents in delignification and nanofibrillation of corn stalk, wheat straw, and rapeseed stem residues// Ind. Crops Prod.- 2020.- Vol.145:111956. DOI 10.1016/j.indcrop.2019.111956.

10. Bangar S.P., Kajla P., Ghosh T. Valorization of wheat straw in food packaging: A source of cellulose/ International Journal of Biological Macromolecules. -2023. -Vol.227. -P.762-776. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2022.12.199.

11. Adewale P., Yancheshmeh M.S., Lam E. Starch modification for non-food, industrial applications: Market intelligence and critical review//Carbohydrate Polymers. -2022. -Vol.291: 119590. DOI 10.1016/j.carbpol.2022.119590.

12. Кузнецов Б.Н., Данилов В.Г., Яценкова О.В., Ибрагимова Е.Ф. Способ получения микрокристалической целлюлозы из соломы злаковых. Патент №. RU 2312110 C1. Опубликовано: 10.12.2007. Бюллетень №.34.

13. Iryna Trembus1, Nazarii Mykhailenko Resource-saving wheat straw processing technology// Journal of Chemical Technology and Metallurgy. -2024.-Vol.59(3). - P.585-590 DOI 10.59957/jctm.v59.i3.2024.11.

14. Zhang Y., Ren H., Li B., Udin S.M., Maarof H., Zhou W., Cheng F., Yang J., Liu Y., Alias H. et al. Mechanistic insights into the lignin dissolution behavior in amino acid based deep eutectic solvents// Int. J. Biol. Macromol. -2023. - Vol.242:124829. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2023.124829.

15. Шингисов А.У., Хамитова Б.М., Еркебаева С.У., Турлыбек М.А. Исследование химического и минерального состава пшеничной соломы как сырья для получения целлюлозы// Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. – 2025. -№ 4(20). -С.473-481. DOI 10.53360/2788-7995-2025-4(20)-56.

16. Фенгел Д., Вегенер Г. Древесина. Химия, ультраструктура, реакции. Пер. с англ. Оболенской А.В., Ельницкой З.П. / М.: Лесная промышленность. - 1988. - 512 p. ISBN 5-7120-0080-6.

17. Eleutério T., Trota M.J., Meirelles M.G., Vasconcelos H.C. A Review of Natural Fibers: Classification, Composition, Extraction, Treatments, and Applications//Fibers. - 2025.-Vol.13: 119. DOI 10.3390/fib13090119.

18. Tultabayev M., Chomanov U., Tultabayeva T., Shoman A., Dodaev K., Azimov U., Zhumanova U. Identifying patterns in the fatty-acid composition of safflower depending on agroclimatic conditions/Eastern-European Journal of Enterprise Technologies-2022.-Vol.2. №11 (116). -P.23-28. DOI 10.15587/1729-4061.2022.255336.

19. Denkes L.B., Barbosa Abrantes K.K., Falcioni R., de Oliveira C.A., Alemparte Abrantes dos Santos G.L., Nanni M.R., Paes J.B., Cardozo-Filho L. Efficiency of Near-Infrared Spectroscopy in Quantifying Lignin in Black Liquor-Impregnated Reforestation// Wood. Polymers. - 2025.-Vol. 17(19):2614. DOI 10.3390/polym17192614.

20. Dampanaboina L., Yuan N., Mendu V. Estimation of Crystalline Cellulose Content of Plant Biomass Using the Updegraff Method// J VisExp. - 2021. DOI 10.3791/62031.

21. Zhao Y., Zhu Y., Ren Y., Lu Y., Yu C., Chen G., Hong Y., Liu Q. Predictive Modeling of Lignocellulosic Content in Crop Straws Using NIR Spectroscopy/Plants. - 2025.-Vol.14(10): 1430. DOI 10.3390/plants14101430.

22. Moreira-Vilar F.C., Siqueira-Soares R.d.C., Finger-Teixeira A., de Oliveira D.M., Ferro A.P., da Rocha G.J., Ferrarese M.d.L.L., dos Santos W.D., Ferrarese-Filho O. The Acetyl Bromide Method Is Faster, Simpler and Presents Best Recovery of Lignin in Different Herbaceous Tissues than Klason and Thioglycolic Acid Methods/ PLoS ONE. - 2014.-Vol.9(10): e110000. DOI 10.1371/journal.pone.0110000. eCollection 2014.

23. Segal L., Creely, J.J., Martin Jr., A.E. and Conrad, C.M. An Empirical Method for Estimating the Degree of Crystallinity of Native Cellulose Using the X-Ray Diffractometer// Textile Research Journal. -1959.-Vol.29.-P.786-794. DOI 10.1177/004051755902901003.

24. Apaydın Varol, E.; Mutlu, Ü. TGA-FTIR Analysis of Biomass Samples Based on the Thermal Decomposition Behavior of Hemicellulose, Cellulose, and Lignin// Energies. - 2023.-Vol.16(9): 3674. DOI 10.3390/en16093674.

References

1. Denisova M.N. Harakteristiki obrazcov celljulozy iz solomy zlakovyh, poluchennyh gidrotropnym sposobom, i rezul’ taty ih issledovanija v kachestve substratov dlja fermentativnogo gidroliza // Polzunovskij vestnik. -2016. -№ 4-1. -S.170-173. [in Russian]

2. Sizov A., Vasil’ ev V. Innovacionnaja tehnologija poluchenija mikrokristallicheskoj celljulozy // LesPromInform. -2019. -№ 5 (143). -S.118-121. [in Russian]

3. Toptunov E.A., Sevast’ janova Ju.V. Poroshkovye celljuloznye materialy: obzor, klassifikacija, harakteristiki i oblasti primenenija// Himija rastitel’ nogo syr’ ja. -2021. -No.4. -C.31-45. DOI 10.14258/jcprm.2021049186. [in Russian]

4. Felix Neudecker, Matthias Jakob, Sabine C. Bodner, Jozef Keckes, Hermann Buerstmayr, Wolfgang Gindl-Altmutter Delignification and Densification as a Route to Enable the Use of Wheat Straw for Structural Materials//ACS Sustainable Chemistry & Engineering-2023.- Vol 11(19). DOI 10.1021/acssuschemeng.3c01375.

5. Veronika Jančíková, Veronika Jančíková, Michal Jablonský. Katarína Voleková.Delignification of Wheat Straw Using DES-like Mixtures//Sustainability. - 2023.- Vol. 15(21): 15343. DOI 10.3390/su152115343.

6. Subankulova D., Osmonalieva A., Lokshina I., Kharchenko A., Lugovskoy S., Gainullina I., Karabaev S. Sorbents from vegetable raw materials // Proceedings of the 10th International Conference MMT. -2018. - P.60-68.

7. Budaeva V.V., Mitrofanov R.Ju., Zolotuhin V.N., Sakovich G.V. Novye syr’ evye istochniki celljulozy dlja tehnicheskoj himii // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. -2011. -№7. - P.205-212. [in Russian]

8. Kuznetsova S.A., Danilov V.G., Kuznetsov B.N., et al. Enviromentally friendly catalytic production of cellulose by abies wood delignification in “acetic acid – hydrogen peroxide - water” media// Chemistry for Sustainable Development. - 2003. -V.11. - P.141-147

9. Suopajärvi T., Ricci P., Karvonen V., Ottolina G., Liimatainen H. Acidic and alkaline deep eutectic solvents in delignification and nanofibrillation of corn stalk, wheat straw, and rapeseed stem residues// Ind. Crops Prod.- 2020.- Vol.145:111956. DOI 10.1016/j.indcrop.2019.111956.

10. Bangar S.P., Kajla P., Ghosh T. Valorization of wheat straw in food packaging: A source of cellulose/ International Journal of Biological Macromolecules. -2023. -Vol.227. -P.762-776. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2022.12.199.

11. Adewale P., Yancheshmeh M.S., Lam E. Starch modification for non-food, industrial applications: Market intelligence and critical review/Carbohydrate Polymers. -2022. -Vol.291: 119590. DOI 10.1016/j.carbpol.2022.119590.

12. Kuznecov B.N., Danilov V.G., Jacenkova O.V., Ibragimova E.F. Sposob poluchenija mikrokristalicheskoj celljulozy iz solomy zlakovyh. Patent №. RU 2312110 C1. Opublikovano: 10.12.2007. Bjulleten’ № 34. [in Russian]

13. Iryna Trembus1, Nazarii Mykhailenko Resource-saving wheat straw processing technology// Journal of Chemical Technology and Metallurgy. -2024.-Vol.59(3). - P.585-590 DOI 10.59957/jctm.v59.i3.2024.11.

14. Zhang Y., Ren H., Li B., Udin S.M., Maarof H., Zhou W., Cheng F., Yang J., Liu Y., Alias H., et al. Mechanistic insights into the lignin dissolution behavior in amino acid based deep eutectic solvents// Int. J. Biol. Macromol. -2023.- Vol.242:124829. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2023.124829.

15. Shingisov A.U., Hamitova B.M., Erkebaeva S.U., Turlybek M.A. Issledovanie himicheskogo i mineral’ nogo sostava pshenichnoj solomy kak syr’ ja dlja poluchenija celljulozy// Vestnik Universiteta Shakarima. Serija tehnicheskie nauki. - 2025. -№ 4(20). -C.473-481. DOI 10.53360/2788-7995-2025-4(20)-56. [in Russian]

16. Fengel D., Vegener G. Drevesina. Himija, ul’ trastruktura, reakcii. Per. s angl. Obolenskoj A.V., El’ nickoj Z.P. /M.: Lesnaja promyshlennost’. - 1988. - 512 p. ISBN 5-7120-0080-6. [in Russian]

17. Eleutério T., Trota M.J., Meirelles M.G., Vasconcelos H.C. A Review of Natural Fibers: Classification, Composition, Extraction, Treatments, and Applications//Fibers. - 2025.-Vol.13: 119. DOI 10.3390/fib13090119.

18. Tultabayev M., Chomanov U., Tultabayeva T., Shoman A., Dodaev K., Azimov U., Zhumanova U. Identifying patterns in the fatty-acid composition of safflower depending on agroclimatic conditions//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies-2022.-Vol.2. №11 (116). -P.23-28. DOI 10.15587/1729-4061.2022.255336.

19. Denkes L.B., Barbosa Abrantes K.K., Falcioni R., de Oliveira C.A., Alemparte Abrantes dos Santos G.L., Nanni M.R., Paes J.B., Cardozo-Filho L. Efficiency of Near-Infrared Spectroscopy in Quantifying Lignin in Black Liquor-Impregnated Reforestation// Wood. Polymers. - 2025.-Vol. *17(19)*:2614. DOI 10.3390/polym17192614.

20. Dampanaboina L., Yuan N., Mendu V. Estimation of Crystalline Cellulose Content of Plant Biomass Using the Updegraff Method// J VisExp. - 2021. DOI 10.3791/62031.

21. Zhao Y., Zhu Y., Ren Y., Lu Y., Yu C., Chen G., Hong Y., Liu Q. Predictive Modeling of Lignocellulosic Content in Crop Straws Using NIR Spectroscopy/Plants. - 2025.-Vol.14(10): 1430. DOI 10.3390/plants14101430.

22. Moreira-Vilar F.C., Siqueira-Soares R.d.C., Finger-Teixeira A., de Oliveira D.M., Ferro A.P., da Rocha G.J., Ferrarese M.d.L.L., dos Santos W.D., Ferrarese-Filho O. The Acetyl Bromide Method Is Faster, Simpler and Presents Best Recovery of Lignin in Different Herbaceous Tissues than Klason and Thioglycolic Acid Methods/ PLoS ONE. - 2014.-Vol.9(10): e110000. DOI 10.1371/journal.pone.0110000. eCollection 2014.

23. Segal L., Creely J.J., Martin Jr., A.E., Conrad C.M. An Empirical Method for Estimating the Degree of Crystallinity of Native Cellulose Using the X-Ray Diffractometer// Textile Research Journal. -1959.-Vol.29.-P.786-794. DOI 10.1177/004051755902901003.

24. Apaydın Varol, E., Mutlu Ü. TGA-FTIR Analysis of Biomass Samples Based on the Thermal Decomposition Behavior of Hemicellulose, Cellulose, and Lignin// Energies. - 2023.-Vol.16(9): 3674. DOI 10.3390/en16093674.

Information about authors

Shingisov A.- Doctor of Technical Sciences, Professor,M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan; e-mail: azret_utebai@mail.ru;

Khamitova B. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, M.Auezov South-Kazakhstan Research University, Kazakhstan, Shymkent; e-mail: barno-007@mail.ru;

Norhashila Hashim - PhD, Associate Professor, Universiti Putra Malaysia, Selangor, Malaysia e-mail: norhashila@upm.edu.my;

Yerkebayeva S.- Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: erkesapash@mail.ru;

Turlybek M. - Doctoral student, M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: madinaturlibek99@gmail.com;

Mukhtarova G. - Senior Lecturer, M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan; e-mail: Gauk_hara@mail.ru.

Сведения об авторах

Шингисов А.У. - доктор технических наук, профессор, Южно-Казахстанский исследовательский университет им. М. Ауэзова, Высшая школа Текстильной и пищевой инженерии, Шымкент, Казахстан, e-mail: azret_utebai@mail.ru;

Хамитова Б.М. - кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Южно-Казахстанский исследовательский университет им. М. Ауэзова, Казахстан, Шымкент, e-mail: barno-007@mail.ru;

Норхашила Хашим - доцент, Университета Путра в Малайзии, Selangor, Малайзия, e-mail: norhashila@upm.edu.my;

Еркебаева С.У.- кандидат биологических наук, доцент, Южно-Казахстанский исследовательский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан, e-mail: erkesapash@mail.ru;

Турлыбек М.А.- докторант, Южно-Казахстанский исследовательский университет им. М. Ауэзова, Казахстан, e-mail: madinaturlibek99@gmail.com;

Мухтарова Г.К. - старший преподаватель, Южно-Казахстанский исследовательский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан, e-mail: Gauk_hara@mail.ru.

МРНТИ 52.45.19 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1375**

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ДИТИОФОСФАТНЫХ СОБИРАТЕЛЕЙ ПРИ ФЛОТАЦИИ ОКИСЛЕННОЙ СВИНЦОВО-ЦИНКОВОЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОСКУДУК

[1]А.Р. Мамбеталиева, [1]Г.К. Макашева, [1]Л.Б. Сабирова, [2]Т.Ш. Тусупбекова, [1]А.Ж. Танабаева

[1]Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.Сатпаева, Алматы, Казахстан,
[2]ТОО «КазГидроМедь», Караганда, Казахстан

Корреспондент-автор: mguldanka@,mail.ru

В работе рассмотрены результаты исследования эффективности применения многокомпонентных дитиофосфатных собирателей при флотации окисленной свинцово-цинковой руды месторождения Коскудук. Показано, что исследуемая руда характеризуется высокой степенью окисления и преобладанием кислородсодержащих форм свинца, что существенно снижает эффективность ксантогенатных режимов флотации. Минералогические и фазовые исследования руды выполнены с применением оптической микроскопии и методов химического анализа.

Флотационные опыты проведены в лабораторных условиях с использованием стадии сульфидизации сернистым натрием и различных дитиофосфатных собирателей. Установлено, что применение стандартного ксантогенатного собирателя обеспечивает извлечение свинца на уровне 46,9 %. Использование многокомпонентного диалкилдитиофосфатного собирателя позволило повысить извлечение свинца до 58,51 %, что соответствует увеличению на 11,61 % по сравнению с базовым режимом, при росте выхода свинцового концентрата до 10,76 %.

Анализ эффективности разделения с использованием критерия Ханкока-Люйкена показал, что повышение технологической эффективности процесса достигается преимущественно за счет увеличения выход концентрата, при некотором снижении его селективности. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности применения многокомпонентных дитиофосфатных собирателей при переработке окисленных и смешанных свинцово-цинковых руд и могут быть использованы для оптимизации реагентных режимов флотации на обогатительных фабриках.

Ключевые слова: окисленные свинцово-цинковые руды, флотация, дитиофосфатные собиратели, извлечение свинца, сульфидизация, критерий Ханкока–Люйкена, месторождение Коскудук.

ҚОСҚҰДЫҚ КЕН ОРНЫНЫҢ ТОТЫҚҚАН ҚОРҒАСЫН-МЫРЫШ КЕННІҢ ФЛОТАЦИЯЛАУ КЕЗІНДЕ КӨП КОМПОНЕНТТІ ДИТИОФОСФАТТЫ ЖИНАҒЫШТАРДЫ ҚОЛДАНУДЫҢ ТИІМДІЛІГІ

[1]А.Р. Мамбеталиева, [2]Г.К. Макашева, [1]Л.Б. Сабирова, [2]Т.Ш. Тусупбекова, [1]А.Ж. Танабаева

[1]Қ.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]«КазГидроМедь» ЖШС, Қарағанда, Қазахстан,
e-mail: mguldanka@mail.ru

Бұл жұмыста Коскудук кен орнының тотыққан қорғасын-мырыш кеннің флотациялау кезінде көп компонентті дитиофосфатты жинағыштарды қолданудың тиімділігі зерттелді. Зерттелген кеннің жоғары дәрежеде тотыққандығымен және қорғасынның оттекқұрамды минералдарының басым болуымен сипатталатыны көрсетілді, бұл дәстүрлі ксантогенаттық флотация режимдерінің тиімділігін айтарлықтай төмендетеді. Кеннің минералогиялық және фазалық құрамы оптикалық микроскопия және химиялық талдау әдістері арқылы анықталды.

Флотациялық тәжірибелер зертханалық жағдайда натрий сульфидімен алдын ала сульфидтеу сатысын қолдана отырып және әртүрлі дитиофосфатты жинағыштармен жүргізілді. Дәстүрлі ксантогенаттық жинағышты қолдану кезінде қорғасынның алынуы 46,9 % деңгейінде болғаны анықталды. Ал көпкомпонентті диалкилдитиофосфатты жинағышты қолдану қорғасынның алынуын

58,51 %-ға дейін арттырып, базалық режиммен салыстырғанда 11,61 %-ға жоғары нәтиже көрсетті, сонымен қатар концентраттың шығымы 10,76 %-ға дейін өсті.

Хэнкок–Люйкен критерийін пайдалана отырып жүргізілген бөліну тиімділігін бағалау технологиялық көрсеткіштердің жақсаруы негізінен концентрат шығымының артуы есебінен жүзеге асқанын, бұл ретте селективтіліктің біршама төмендегенін көрсетті. Алынған нәтижелер тотыққан және аралас қорғасын-мырыш кендерін флотациялау кезінде көпкомпонентті дитиофосфатты жинағыштарды қолданудың орындылығын дәлелдейді және байыту фабрикаларында реагенттік режимдерді оңтайландыру үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: тотыққан қорғасын-мырыш кендері, флотация, дитиофосфатты жинағыштар, қорғасынның алынуы, сульфидтеу, Хэнкок–Люйкен критерийі, Коскудук кен орны.

EFFICIENCY OF MULTICOMPONENT DITHIOPHOSPHATE COLLECTORS IN THE FLOTATION OF OXIDIZED LEAD–ZINC ORE FROM THE KOKSUDUK DEPOSIT

[1]A.R. Mambetaliyeva, [2]G.K. Makasheva✉, [1]L.B. Sabirova, [2]T.Sh. Tussupbekova, [1]A.Zh. Tanabayeva

[1]K. Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan,
[2]KazHydroMed LLP, Karaganda, Kazakhstan,
e-mail: mguldanka@mail.ru

This paper presents the results of a study on the efficiency of multicomponent dithiophosphate collectors in the flotation of oxidized lead–zinc ore from the Koksuduk deposit. It is shown that the studied ore is characterized by a high degree of oxidation and a predominance of oxygen-containing lead minerals, which significantly reduces the efficiency of conventional xanthate flotation regimes. Mineralogical and phase analyses of the ore were carried out using optical microscopy and chemical analysis methods.

Flotation tests were performed under laboratory conditions with preliminary sulfidization using sodium sulfide and various dithiophosphate collectors. It was established that the use of a conventional xanthate collector provided a lead recovery of 46.9%. The application of a multicomponent dialkyldithiophosphate collector increased lead recovery to 58.51%, corresponding to an improvement of 11.61% compared to the baseline regime, while the concentrate yield increased to 10.76%.

An evaluation of separation efficiency using the Hancock–Luyken criterion showed that the improvement in technological performance was achieved mainly due to an increase in concentrate yield, accompanied by a slight decrease in selectivity. The obtained results confirm the feasibility of using multicomponent dithiophosphate collectors for the flotation of oxidized and mixed lead–zinc ores and can be applied to optimize reagent regimes at mineral processing plants.

Keywords: oxidized lead–zinc ores, flotation, dithiophosphate collectors, lead recovery, sulfidization, Hancock–Luyken criterion, Koksuduk deposit.

Введение. Окисленные свинцово-цинковые руды занимают существенную позицию в минерально-сырьевой базе Республики Казахстан, так как значительная доля разведанных запасов полиметаллического сырья относится к зоне гипергенеза. По данным анализа отечественных авторов свидетельствует о том, что к характерным объектам такого типа относятся месторождения Риддер-Сокольное, Зыряновское, Малевское, Шалкия, Ачисай и Коскудук, для которых характерно широкое распространение окисленных и смешанных руд [1-3].

По анализам минералогический состав окисленных свинцовых руд представлен в основном церусситом ($PbCO_3$), англезитом ($PbSO_4$), а также сложными силикатными и карбонатными соединениями свинца. Данные минералы различаются выделяющейся гидрофильностью, отрицательным зарядом поверхности и слабой способностью к поглощению стандартных сульфгидрильных собирателей, что значительно усложняет их флотационное извлечение [4,5]. По дан-

ным авторов исследования, при переработке окисленных свинцовых руд использование стандартных ксантогенатных режимов приводит к низким результатам извлечения свинца и нестабильной работе флотационных схем [1,2].

Определено, что поверхностные свойства окисленных минералов свинца различаются от свойств сульфидных фаз. Церуссит и англезит вовсе не способны образовывать устойчивых гидрофобных пленок при связи с ксантогенатами, даже при увеличении дозировки реагентов. Это связано с перевесом кислородсодержащих функциональных групп на поверхности минералов и низкой химической связью между молекулами собирателя и катионами Pb^{2+} [6].

Одним из часто встречающихся методов увеличения флотационной активности окисленных минералов является сульфидизация, осуществляемая обработкой пульпы растворами сернистого натрия и аммония. Предполагается, что в конечном итоге этого процесса на поверхности церуссита образуется тонкий слой PbS, позволяющий адсорбции сульфгидрильных реагентов. Но тем не менее современные исследования указывают на частые дискретные, нестабильные и склонные ко вторичному окислению сульфидные пленки, особенно в среде минерализованных оборотных вод, которые снижают эффективность этого подхода [7- 9].

Следовательно, в современной практике переработки окисленных свинцово-цинковых руд возрастает интерес к использованию реагентов нового поколения, способных эффективно вступать в реакцию с поверхностью минералов без необходимого формирования сплошного сульфидного слоя. К числу наиболее эффективных относятся фосфорорганические собиратели – дитиофосфаты, диалкилдитиофосфаты и их модифицированные формы, обладающие выраженной комплексообразующей способностью по отношению к ионами Pb^{2+} и дающие формирование плотных и устойчивых адсорбционных пленок на поверхности кислородсодержащих минералов свинца [10 - 13].

Комплекс литературных данных показывают о том, что использование многокомпонентных дитиофосфатных реагентов позволяет увеличить извлечение свинца, а также выровнить технологические показатели флотации при переработке окисленных и смешанных руд. Это позволяет рассуждать о перспективном направлением усовершенствования реагентных режимов данного класса собирателей.

Целью данного исследования является анализ эффективности использования многокомпонентных дитиофосфатных собирателей при флотации окисленной свинцово-цинковой руды месторождения Коскудук и аргументация возможности увеличения извлечения свинца.

Материалы и методы. Обьектом исследования является окисленная свинцово-цинковая руда месторождения Коскудук.

Исследование минерального состава проводилось в отраженном свете в полированных аншлифах с применением микроскопа OLYMPUS BX 53, видеокамеры SIMAGIS XS-3CU и программного обеспечения для анализа изображений Минерал С7 компании SIAMS.

Минералогический показатель руды и продуктов ее обогащения ограничены из-за тонких частиц рудных минералов и присутствия тонких взвесей глинистого материала, а также широкого развития процесса замещения сульфидных минералов окислами (пирита гетитом и гематитом). Остатки сульфидных минералов при этом, являясь допустимыми по размерам для раскрытия и извлечения, уменьшаются по крупности до 5 мкм и менее, что отмечается на аншлифах, представленных на рисунке 1.

В связи со сложным минералогическим составом рассматриваемых окисленных руд были выполнены анализы вещественного состава пробы с применением различных методов аналитической химии: атомно-адсорбционного и атомно эмиссионного анализа, классического химического и фотометрического анализа.

Из рисунка 2 следует, что проба рассматриваемой руды содержит свинец 0,58 % и цинк 0,56 %, содержание меди не высокое (0,02 %) и не представляет промышленного интереса.

При изучении вещественного состава иссле-

дуемого материала особое внимание было уделено формам нахождения цинка, свинца и железа, что позволило оценить их перерабатываемость и возможные методы обогащения.

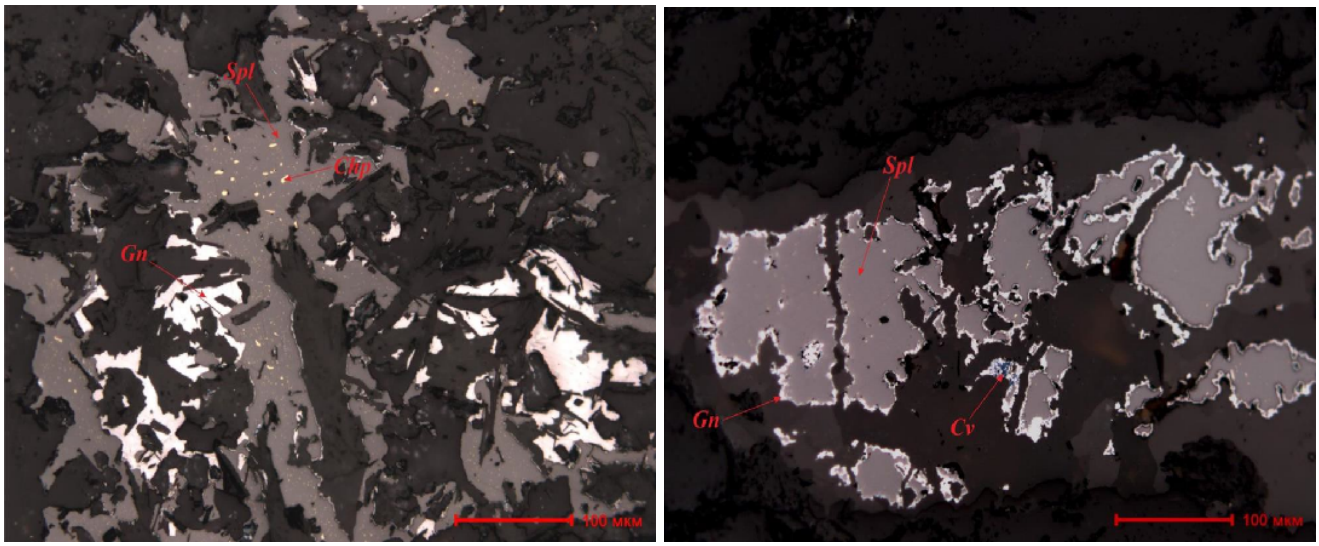


Рис.1 - Аншлиф. Вкрапленная структура халькопирита (Chp) в сфалерите (Spl), галенит (Gn). Ув.200х

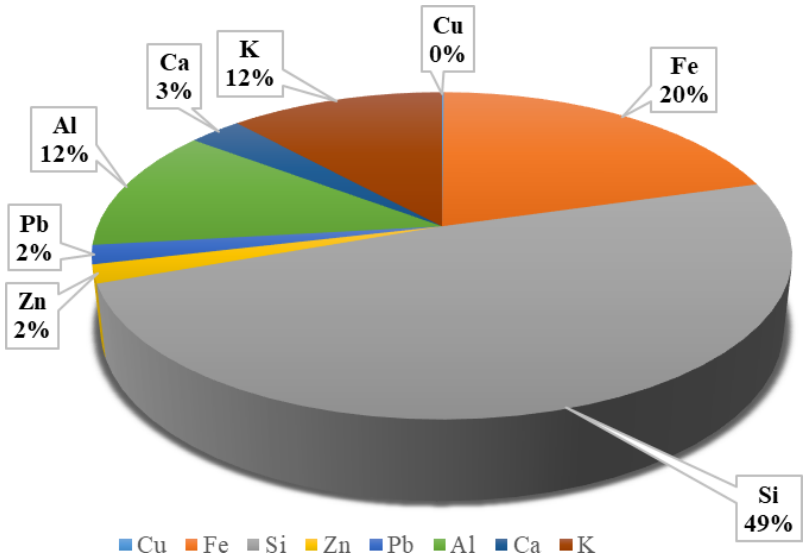


Рис.2 - Химический состав полиметаллической руды

Из результатов фазового химического анализа (таблица 1) следует, что рассматриваемая проба относится к окисленному типу, так как свинец представлен окисленными и силикатными соединениями на 77,59 % относительных, а цинк – на 87,5 % отн. Можно отметить, что и железо пребывает почти полностью в окисленной форме, т.к. сульфидных форм железа очень мало – менее 0,05 % абс.

Согласно данным химического, минералогического и фазового анализов можно сделать вывод, что по степени окисления, структурно-текстурным характеристикам, а также по размеру вкрапленности исследуемые окисленные руды месторождения Коскудук относятся к категории тонко вкрапленных и труднообогатимых.

Таблица 1 - Результаты химического фазового анализа окисленной руды месторождения Коскудук

Наименование компонентов	Содержание	
	Абсолютное, %	Относительное, %
Формы нахождения цинка:		
- Водорастворимый	*<0,05*	*-*
- Окисленный	*0,31*	*55,36*
- Сульфиды	*0,07*	*12,50*
- Труднорастворимый	*0,18*	*32,14*
Суммарно	**0,56**	**100,0**
Формы нахождения свинца:		
- Кислородсодержащий	*0,29*	*50,00*
- Галенит	*0,13*	*22,41*
- Остаточные формы	*0,16*	*27,59*
Суммарно	**0,58**	**100,0**
Формы нахождения железа:		
- Сульфиды	*<0,05*	*-*
- Двухвалентное Fe^{2+}	*3,06*	*48,6*
- Трехвалентное Fe^{3+}	*3,24*	*51,4*
Суммарно	**6,30**	**100,0**

Обсуждение и результаты. Флотационные исследования окисленных руд были начаты установлением сульфидизации с использованием сернистого натрия. Из материалов статьи [14] следует, что с увеличением расхода сернистого натрия с 200 г/т до 700 г/т, увеличивается эффективность обогащения по свинцу на 10,8 % (с 34,3 до 45,1 %), тем самым извлечение по серебру и золоту составило – 60,2 и 59,6 %. Оптимальным расходом для сульфидизации окисленной руды Коскудук составило 500 г/т. В рамках произведенных флотационных исследований окисленной свинца и цинка содержащейся в руде месторождения Коскудук, была изучена эффективность применения альтернативного собирателя группу дитиофосфатных реагентов, показанных на таблице 2.

Таблица 2 - Характеристика дитиофосфатных реагентов применяемых при флотации окисленных руд

Тип/группа	Обощенная структура*	Основные свойства	Область применения
Натриево-бутиловый дитиофосфат	$Na^+[P(S)(S\text{-}Bu)2]^-$	Устойчивая адсорбция на Pb; высокая гидрофобизация	Pb – минералы после сульфидизации
Натриево-изобутиловый дитиофосфат	$Na^+[P(S)(S\text{-}iBu)2]^-$	Плотная органическая пленка; улучшенное прилипание пузырьков	Окисленные и смешанные руды

Аммоний-изобутиловый дитиофосфат	$NH4^{+}[P(S)(S\text{-}iBu)2]^{-}$	Высокая селективность; активен при низком pH	Окисленные руды
Модифицированные просмотор DTP - типа	R-O-P(S)-S-R’	Глубокая гидрофобизация; активен на несульфидированных участках	Окисленные руды
Композиционный промотор DTP - типа	R-O-P(S)-S-R’ (модиф.)	Высокая реакционная способность; плотная пленка	Смешанные руды
Высокоактивная смесь DTP - производных	R-O-P(S)-S-R’ (модиф.)	Устойчивая адсорбция; высокая плотность покрытия	Труднообогати-мые руды
Специализирован-ный реагент для оксидов	R-O-P(S)-S-R’ (модиф.)	Высокая активность в отношении оксидных пленок	Окисленные руды
Многокомпонент-ный диалкилдитио-фосфат	R-O-P(S)-S-R’ + органические модификаторы	Устойчивая пленка; активность на несульфидированных центрах; высокая селективность	Окисленные и смешанные руды

Технологическая схема проведения лабораторных тестовых опытов приведена на рисунке 3.

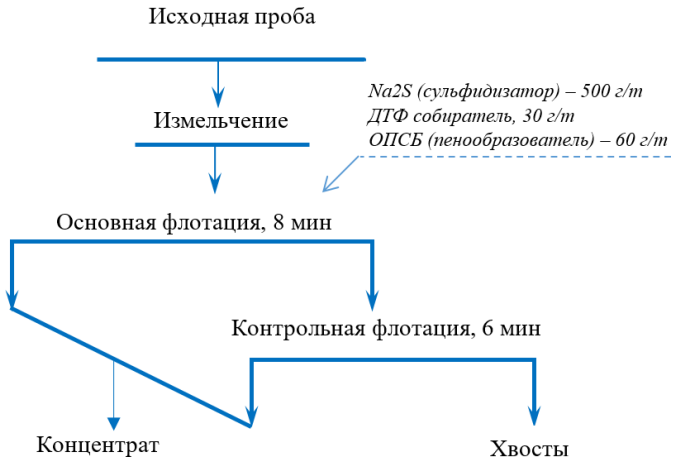


Рис.3 - Схема открытых опытов по тестовым испытаниям селективного собирателя

Таблица 3 - Результаты открытых опытов по флотации исходной пробы окисленной руды месторождения Коскудук с использованием селективного собирателя

Селективный собиратель	**Наименование продуктов**	**Выход, %**	**Содержание, %**			**Извлечение, %**		
			Pb	**Zn**	**Fe**	**Pb**	**Zn**	**Fe**
Базовый опыт (БО)								

Калий бутиловый ксантогенат - C4H9OCS2K	Концентрат	5,71	4,76	0,73	7,85	46,9	7,4	7,1
	Хвосты	94,29	0,33	0,55	6,22	53,1	92,6	92,9
	Исходная проба	100,0	0,58	0,56	6,31	100,0	100,0	100,0
Тест 1								
Специализированный реагент для оксидов	Концентрат	6,48	3,31	1,08	9,40	36,98	12,49	9,66
	Хвосты	93,52	0,39	0,52	6,10	63,02	87,51	90,34
	Исходная проба	100,0	0,58	0,56	6,31	100,0	100,0	100,0
Тест 2								
Высокоактивная смесь DTP - производных	Концентрат	5,50	3,13	1,01	7,95	29,67	9,9	6,9
	Хвосты	94,50	0,43	0,53	6,21	70,33	90,1	93,1
	Исходная проба	100,0	0,58	0,56	6,31	100,0	100,0	100,0
Тест 3								
Многокомпонентный диалкилдитиофосфат	Концентрат	10,76	3,15	1,31	9,73	58,51	25,11	16,58
	Хвосты	89,24	0,27	0,47	5,90	41,49	74,89	83,42
	Исходная проба	100,0	0,58	0,56	6,31	100,0	100,0	100,0
Тест 4								
Модифицированные промотор DTP - типа	Концентрат	6,69	2,99	1,03	8,36	34,48	12,4	8,9
	Хвосты	93,31	0,41	0,53	6,16	65,52	87,6	91,1
	Исходная проба	100,0	0,58	0,56	6,31	100,0	100,0	100,0
Тест 5								
Композиционный промотор DTP - типа	Концентрат	7,85	2,39	0,97	8,15	32,40	13,6	10,1
	Хвосты	92,15	0,43	0,53	6,15	67,60	86,4	89,9
	Исходная проба	100,0	0,58	0,56	6,31	100,0	100,0	100,0
Тест 6								
Аммоний-изобутиловый дитиофосфат	Концентрат	9,79	2,34	0,94	7,95	39,46	16,50	12,33
	Хвосты	90,21	0,39	0,52	6,13	60,54	83,50	87,67
	Исходная проба	100,0	0,58	0,56	6,31	100,0	100,0	100,0
Тест 7								
Натриево-бутиловый дитиофосфат	Концентрат	9,75	2,22	0,96	7,74	37,24	16,7	12,0
	Хвосты	90,25	0,40	0,52	6,16	62,76	83,3	88,0
	Исходная проба	100,0	0,58	0,56	6,31	100,0	100,0	100,0
Тест 8								
Натриево-изобутиловый дитиофосфат	Концентрат	9,60	1,88	0,75	6,62	31,17	12,92	3,33
	Хвосты	90,40	0,44	0,54	6,28	68,83	87,08	96,67
	Исходная проба	100,0	0,58	0,56	6,31	100,0	100,0	100,0

Из данных таблицы 3 следует, что использование селективного собирателя многокомпонентный диалкилдитифосфат извлечение свинца повышается на 11,61 % (с 46,9 до 58,51 %).

Кроме обычных технологических показателей, относящих к продуктам обогащения - выход, содержание ценного компонента, извлечения, часто используются технологические критерии эффективности разделения. Для определения критерии эффективности разделения свинца использована формула Ханкока-Люйкена.

Значение критерия Ханкока-Люйкена рассчитывается по следующей формуле:

$$E = \frac{\varepsilon - \gamma}{1 - \alpha} \quad (1)$$

где, ε - извлечение свинца в суммарной концентрат, %;

γ - выход свинцового концентрата, %;

α - содержание свинца в исходной пробе, %.

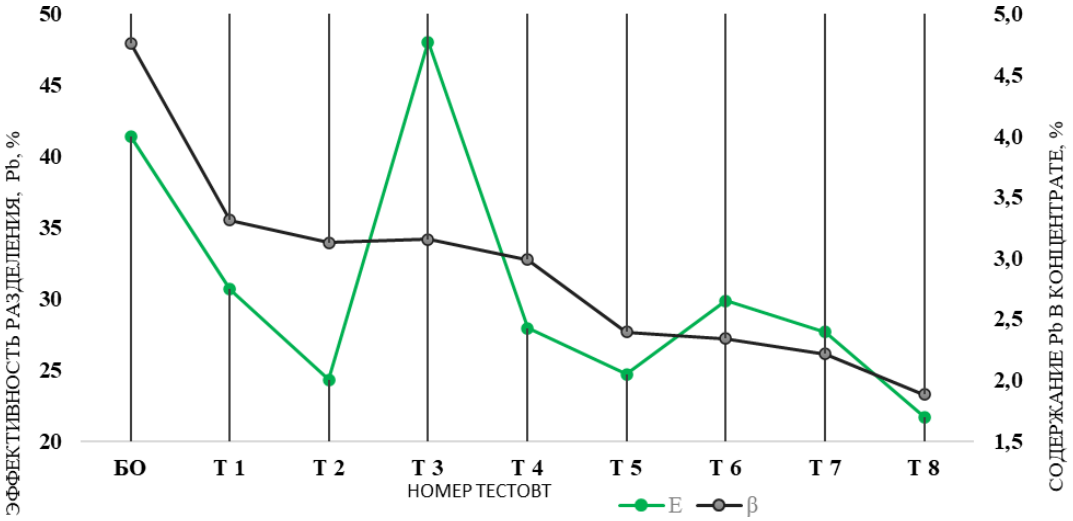


Рис.4 - Эффективность разделения свинца в зависимости от применение селективного собирателя

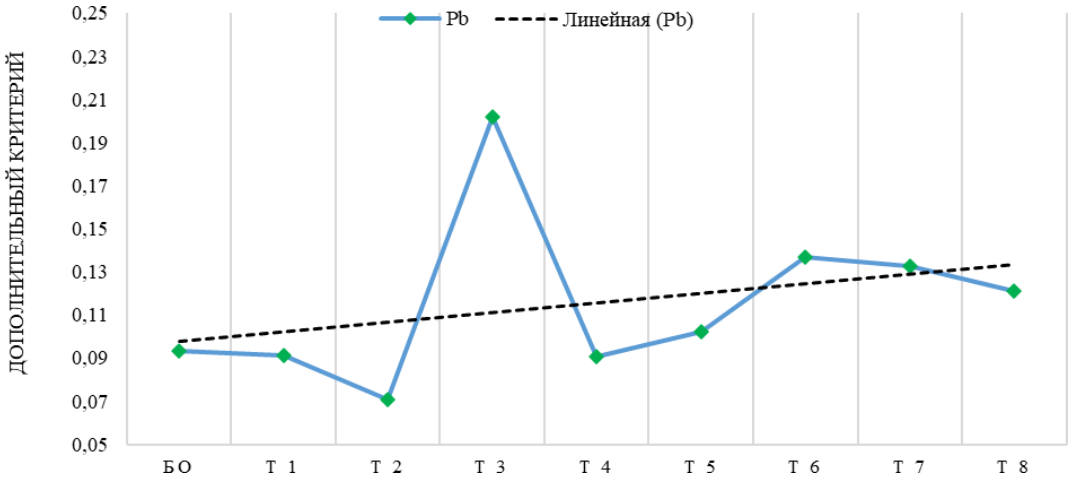


Рис.5 - Дополнительный критерий эффективности разделения свинца

Результаты расчетов, представленные на рисунке 4, показывает, что характер изменения критерия эффективности определяется повышением выхода концентрата при использовании

многокомпонентного диалкилдитифосфата, при этом содержание свинца в свинцовом концентрате снижается.

Возможны и все промежуточные случаи: с ростом частного выхода «концентрат» операции идеального разассигнования от первого варианта ко второму при одной и той же эффективности разделения в целом уменьшается роль недоизвлечения обогащаемого компонента в концентрат и возрастает роль загрязнения концентрата. Операционный выход «концентрата» в процессе совершенного разассигнования может выполнять критерием, дополнительным к критерию Ханкока-Люйкена:

По данным из рисунка 5 показывает, что дополнительный критерий для свинца в каждых исследованных режимах принимает меньшие единицы, что показывает на доминирующее влияние недоизвлечения обогащаемого компонента в концентрат на уменьшение общей эффективности разделения. Предельное значение критерия выявляется при использовании многокомпонентного диалкилдитифосфата, что свидетельствует об увеличении роли загрязнения концентрата при достижении максимальной эффективности процесса.

Выводы. Проведенные исследования показали, что окисленная свинцово-цинковая руда месторождения Коскудук характеризуется высокой степенью окисления, тонкой вкрапленностью рудных минералов и преобладанием кислородсодержащих форм свинца, доля которых составляет 77,59 % от общего содержания свинца. Показанные минералого-химические особенности определяют низкую эффективность классических собирателей на флотации и обуславливают необходимость применения альтернативных собирателей, ориентированных на взаимодействие с кислородсодержащими поверхностными центрами минералов.

Результаты флотационных исследование подтвердили, что применение базового собирателя (бутиловый ксантогената) обеспечивает извлечение свинца на уровне 46,9 % при выходе 5,71 %. Применение многокомпонентного диалкилдитиофосфатного собирателя дало повышение выхода свинцового концентрата до 10,76 % и увеличить извлечение свинца до 58,51 %, что приравнивается к приросту извлечения на 11,61 % по сравнению с базовым режимом. Полученные данные показывают о более эффективном взаимодействии данного класса реагентов с поверхностью окисленных минералов свинца по сравнению с ксантогенатами.

Анализ показателей эффективности разделения с использованием критерия Ханкока-Люйкена выявил, что увеличение общей эффективности процесса при использовании многокомпонентного диалкилдитиофосфата осуществляется в основном за счет повышения выхода концентрата. При этом уменьшение содержания свинца в концентрате указывает на увеличения роли загрязнения продукта, что демонстрирует присущий для флотационных процессов оптимальных между полнотой извлечения и селективностью разделения.

Полученные результаты имеют практическую значимость для переработки окисленных и смешанных свинцово-цинковых руд месторождения Коскудук и аналогичных обьектов Восточного Казахстана. Увеличение извлечения свинца на 10-12 % по сравнению с ксантогенатным режимам дает возможность рассматривать многокомпонентные дитиофосфатные собиратели как оптимизации реагентных режимов флотации и вовлечения в переработку труднообогатимых руд и техногенных минеральных образований.

***Финансирование**: Исследование проведено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках грантового проекта № AP23489765.*

Литература

1. Рамазанова Р. Шәймардан Н., Саурбаева Б.С., Тантыбаева Б.С., Мамяченков С.В.. Жәйрем кен

орнының тотыққан қорғасын-мырыш кенінің заттық құрамы мен байытылуын зерттеу// ШҚТУ хабаршысы. -2025. - № 2. -Б.39-51. DOI 10.51885/1561-4212_2025_2_39.

2. Chepushtanova T., Motovilov I., Merkibayev Y., Polyakov K., Gostu S. Flotation studies of the middling product of lead-zinc ores with preliminary sulfidizing roasting of oxidized lead and zinc compounds // Complex use of mineral resources. -2022. -T.323 (4). -P.77-83. DOI 10.31643/2022/6445.43.

3. Mambetaliyeva A., Tussupbekova T., Sabirova L., Makasheva G., Rysbekov K., Barmenshinova M. Study of oxidative–reductive potential changes in the enrichment of oxidized polymetallic ores // Applied Sciences. -2025. -Vol.15(11): 6091. DOI 10.3390/app15116091.

4. Qiu X., Hongying Y., Guobao C., Shuiping Z., Chuangkai C., Lan B. Inhibited mechanism of carboxymethyl cellulose as a galena depressant in chalcopyrite and galena flotation // Minerals Engineering. -2020. -Vol. 150: 106270. DOI 10.1016/j.mineng.2020.106273 .

5. Kamran Haghighi H., Jafarian Mohammadi, S.M.J., Salarirad M.M. Promoted Flotation of Lead and Silver Oxidized Minerals Using a Synergetic Combination of Collectors// Journal of Sustainable Metallurgi. -2024. - Vol.10. - P.1507-1527. DOI 10.1007/s40831-024-00867-6.

6. Xiaoqin T., Jianhua Ch., Ye Ch. A density functional based tight binding (DFTB+) study on the sulfidization-xanthate flotation mechanism of cerussite // Applied Surface Science. - 2023. - Vol.612: 155677. DOI: 10.1016/j.apsusc.2022.155677.

7. Bulatovic S. Flotation of mixed lead zinc sulphide oxide and oxide lead and zinc ores // Handbook of flotation reagents: chemistry, theory and practice. -2010. -P.67-86. DOI 10.1016/B978-0-444-53082-0.00020-2.

8. Li J., Liu S., Liu D., Liu R., Liu Zh., Jia X., Chang T. Sulfidization mechanism in the flotation of cerussite: A heterogeneous solid-liquid reaction that yields PbCO3/PbS core-shell particles // Minerals Engineering. - 2020. -Vol.153: 106400. DOI 10.1016/j.mineng.2020.106400.

9. Ko M., Kirakosyan A., Kim H-U., Seok H., Chai J., Jean N. A new nanoparticle heterostructure strategy with highly tunable morphology via sequential infiltration synthesis // Applied Surface Science. -2022. -Vol.593: 153387. DOI 10.1016/j.apsusc.2022.153387.

10. Liu Zh., Feng Y., Li H. Application of titanium phosphate prepared from acidic titanium dioxide wastewater to remove cerium (III) in aqueous solution // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. -2021. -Vol.630: 127613. DOI 10.1016/j.colsurfa.2021.127613.

11. Chen Y., Sun Y., Han Y. Efficient flotation separation of lead–zinc oxide ores using mineral sulfidation reconstruction technology: A review // Green and Smart Mining Engineering. -2024. -Vol.1(2). -P.175-189. DOI 10.1016/j.gsme.2024.05.004.

12. Elizondo-Álvarez M.A., Uribe-Salas A., Nava-Alonso F. Flotation studies of galena (PbS), cerussite (PbCO3) and anglesite (PbSO4) with hydroxamic acids as collectors // Minerals Engineering. -2020. -Vol. 155: 106456. DOI 10.1016/j.mineng.2020.106456.

13. Silin I., Hahn K.M., Gursel D., et al. Mineral processing and metallurgical treatment of lead vanadate ores // Minerals. -2020. -Vol. 10(2). DOI 10.3390/min10020197.

14. Мамбеталиева А.Р., Мухтаркызы А., Шаутенов М.Р. Натрий сульфидінің қосқұдық кен орын-дарының тотыққанқорғасын-мырыш кендеріне әсерін зерттеу // ҚазТБУ Хабаршысы. -2025. -Т.1 (26). -Б.390-399. DOI 10.58805/kazutb.v.1.26-603.

Referenses

1. Ramazanova R. Shajmardan N., Saurbaeva B.S., Tantybaeva B.S., Mamjachenkov S.V.. Zhajrem ken ornynyң totyққan qorgasyn-myrysh keninin zattyq қuramy men bajytyluyn zertteu// ShQTU habarshysy. -2025. - № 2. -B.39-51. DOI:= 10.51885/1561-4212_2025_2_39. [in Kazakh]

2. Chepushtanova T., Motovilov I., Merkibayev Y., Polyakov K., Gostu S. Flotation studies of the middling product of lead-zinc ores with preliminary sulfidizing roasting of oxidized lead and zinc compounds // Complex use of mineral resources. -2022. -T.323 (4). -P.77-83. DOI 10.31643/2022/6445.43.

3. Mambetaliyeva A., Tussupbekova T., Sabirova L., Makasheva G., Rysbekov K., Barmenshinova M. Study of oxidative–reductive potential changes in the enrichment of oxidized polymetallic ores // Applied Sciences. -2025. -Vol.15(11): 6091. DOI 10.3390/app15116091.

4. Qiu X., Hongying Y., Guobao C., Shuiping Z., Chuangkai C., Lan B. Inhibited mechanism of carboxymethyl cellulose as a galena depressant in chalcopyrite and galena flotation // Minerals Engineering. -2020. -Vol. 150: 106270. DOI 10.1016/j.mineng.2020.106273 .

5. Kamran Haghighi H., Jafarian Mohammadi, S.M.J., Salarirad M.M. Promoted Flotation of Lead and Silver Oxidized Minerals Using a Synergetic Combination of Collectors// Journal of Sustainable Metallurgi. -2024. - Vol.10. - P.1507-1527. DOI 10.1007/s40831-024-00867-6.

6. Xiaoqin T., Jianhua Ch., Ye Ch. A density functional based tight binding (DFTB+) study on the sulfidization-xanthate flotation mechanism of cerussite // Applied Surface Science. -2023. -Vol.612: 155677. DOI 10.1016/j.apsusc.2022.155677.

7. Bulatovic S. Flotation of mixed lead zinc sulphide oxide and oxide lead and zinc ores // Handbook of flotation reagents: chemistry, theory and practice. -2010. -P.67-86. DOI 10.1016/B978-0-444-53082-0.00020-2.

8. Li J., Liu S., Liu D., Liu R., Liu Zh., Jia X., Chang T. Sulfidization mechanism in the flotation of cerussite: A heterogeneous solid-liquid reaction that yields PbCO3/PbS core-shell particles // Minerals Engineering. - 2020. -Vol.153: 106400. DOI 10.1016/j.mineng.2020.106400.

9. Ko M., Kirakosyan A., Kim H-U., Seok H., Chai J., Jean N. A new nanoparticle heterostructure strategy with highly tunable morphology via sequential infiltration synthesis // Applied Surface Science. -2022. -Vol.593: 153387. DOI 10.1016/j.apsusc.2022.153387.

10. Liu Zh., Feng Y., Li H. Application of titanium phosphate prepared from acidic titanium dioxide wastewater to remove cerium (III) in aqueous solution // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. -2021. -Vol.630: 127613. DOI 10.1016/j.colsurfa.2021.127613.

11. Chen Y., Sun Y., Han Y. Efficient flotation separation of lead–zinc oxide ores using mineral sulfidation reconstruction technology: A review // Green and Smart Mining Engineering. -2024. -Vol.1(2). -P.175-189. DOI 10.1016/j.gsme.2024.05.004.

12. Elizondo-Álvarez M.A., Uribe-Salas A., Nava-Alonso F. Flotation studies of galena (PbS), cerussite (PbCO3) and anglesite (PbSO4) with hydroxamic acids as collectors // Minerals Engineering. -2020. -Vol. 155: 106456. DOI 10.1016/j.mineng.2020.106456.

13. Silin I., Hahn K.M., Gursel D., et al. Mineral processing and metallurgical treatment of lead vanadate ores // Minerals. -2020. -Vol. 10(2). DOI 10.3390/min10020197.

14. Mambetalieva A.R., Muhtarkyzy A., Shautenov M.R. Natrij sul’ fidinin qosqudyq ken oryndarynyn totyqqanqorgasyn-myrysh kenderine aserin zertteu // QazTBU Habarshysy. -2025. -T.1 (26). -B.390-399. DOI 10.58805/kazutb.v.1.26-603. [in Kazakh]

Сведения об авторах

Мамбеталиева А.Р. - доктор PhD, ассоциированный профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.Сатпаева, Алматы, Казахстан, e-mail: a.mambetaliyeva@satbayev.university;

Макашева Г.К. - докторант, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.Сатпаева, Алматы, Казахстан, e-mail: mguldanka@mail.ru;

Сабирова Л.Б. - кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.Сатпаева, Алматы, Казахстан, e-mail: l.sabirova@satbayev.university;

Тусупбекова Т.Ш. - начальник лаборатории обогащения ТОО «КазГидроМедь», Караганда, Казахстан, e-mail: tansholpan_87.09@mail.ru;

Танабаева А.Ж.- докторант, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.Сатпаева, Алматы, Казахстан, e-mail: i_love_mamy@bk.ru.

Information about the authors

Mambetaliyeva A.R. - PhD, Associate Professor, K.Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: a.mambetaliyeva@satbayev.university;

Makasheva G.K., Doctoral student, K.Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: mguldanka@mail.ru;

Sabirova L.B. - Candidate of technical sciences, K.Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: l.sabirova@satbayev.university;

Tusupbekova T.Sh. - Head of the Enrichment Laboratory at KazHydroMed LLP, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: tansholpan_87.09@mail.ru;

Tanabaeva A.Zh. - Doctoral student, K.Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: i_love_mamy@bk.ru.

МРНТИ 52.47.15 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1371**

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИСПЕРГАТОРОВ АСФАЛЬТЕНО-СМОЛОПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УЗЕНЬ

Р.У. Баямирова, А.Р. Тогашева, Д.С. Садуакасов✉, А.Т. Жолбасарова, Н. Нурлыбай

Университет Есенова, Актау, Казахстан

✉ *Корреспондент-автор: danabek.saduakassov@yu.edu.kz*

В статье представлены результаты комплексных лабораторных исследований диспергаторов асфальтено-смолопарафиновых отложений (ДАСПО) в условиях месторождения Узень. Изучены физико-химические свойства реагентов, включая растворимость, стабильность и совместимость с высокоминерализованными пластовыми водами, характерными для данного месторождения. Особое внимание уделено оценке диспергирующей, растворяющей и пенообразующей способности исследуемых составов. В ходе лабораторных испытаний была проведена серия тестов, направленных на определение высаливающей способности диспергаторов при температуре 20 °С, а также при температурах, близких к пластовым условиям эксплуатации скважин. Полученные результаты позволили выявить ряд реагентов, сохраняющих устойчивость в минерализованной водной среде и не склонных к выпадению осадка или образованию агрегатов. Среди протестированных образцов составы ДАСПО № 1, № 2 и № 8 показали наилучшие показатели эффективности: они эффективно разрушают структуру парафиновых отложений, способствуют их диспергированию и полностью совместимы с пластовыми водами месторождения Узень. Полученные экспериментальные данные легли в основу перечня реагентов, рекомендованных для проведения опытно-промысловых испытаний и последующего промышленного внедрения технологий борьбы с АСПО в условиях осложнённой эксплуатации нефтяных скважин месторождения Узень.

Ключевые слова: диспергаторы АСПО, высаливающая способность, минерализованные воды, диспергирование, пенообразующая способность, месторождение Узень, водорастворимые реагенты.

ӨЗЕН КЕН ОРНЫНДА АСФАЛЬТ-СМОЛА-ПАРАФИНДІ ШӨГІНДІЛЕРДІҢ ДИСПЕРГАТОРЛАРЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

Р.У. Баямирова, А.Р. Тогашева, Д.С. Садуакасов✉, А.Т. Жолбасарова, Н. Нурлыбай

Есенов университеті, Ақтау, Қазақстан,
e-mail: danabek.saduakassov@yu.edu.kz

Мақалада Өзен кен орны жағдайында асфальт-шайыр-парафинді тұнбалар (АШПТ) диспергаторларын кешенді зертханалық зерттеу нәтижелері ұсынылған. Реагенттердің физика-химиялық қасиеттері, соның ішінде ерігіштігі, тұрақтылығы және осы кен орнына тән жоғары минералданған қабат суларымен үйлесімділігі зерттелді. Сонымен қатар зерттелген құрамдардың диспергирлеу, еріту және көбік түзу қабілеттерін бағалауға ерекше назар аударылды. Зертханалық сынақтар барысында диспергаторлардың тұздардың әсерінен бөліну (высаливание) қасиетін анықтауға бағытталған бірқатар тәжірибелер жүргізілді: 20 °С температурада, сондай-ақ ұңғымаларды пайдалану кезіндегі қабаттық жағдайларға жақын температураларда зерттеулер орындалды. Алынған нәтижелер минералданған су ортасында тұрақтылығын сақтайтын және тұнба түзуге немесе агрегаттардың пайда болуына бейім емес бірқатар реагенттерді анықтауға мүмкіндік берді. Сынақтан өткен үлгілердің ішінде АШПТ диспергаторлары № 1, № 2 және № 8 ең жоғары тиімділік көрсетті: олар парафинді тұнбалардың құрылымын тиімді түрде бұзады, олардың дисперсиялануына ықпал етеді және Өзен кен орнының қабат суларымен толық үйлесімді. Алынған эксперименттік нәтижелер

тәжірибелік-өндірістік сынақтарға ұсынылатын реагенттер тізімін қалыптастыруға және Өзен кен орнындағы ұңғымаларды күрделенген пайдалану жағдайында АШПТ-мен күрес технологияларын өнеркәсіптік енгізуге негіз болды.

Түйін сөздер: АСПШ диспергаторлары, тұз шығару қабілеті, минералданған сулар, диспергиялау, көбік түзуші қабілет, Өзен кен орны, суда еритін реагенттер.

STUDY OF THE EFFICIENCY OF ASPHALTENE–RESIN–PARAFFIN DEPOSIT DISPERSANTS AT THE OZEN FIELD

R.U. Bayamirova, A.R. Togasheva, D.S. Saduakassov✉, A.T. Zholbasarova, N. Nurlybay

Yessenov University, Aktau, Kazakhstan
e-mail: danabek.saduakassov@yu.edu.kz

The article presents the results of comprehensive laboratory studies of dispersants for asphaltene-resin-paraffin deposits (ARPD) under the conditions of the Uzen field. The physicochemical properties of the reagents were investigated, including their solubility, stability, and compatibility with highly mineralized formation waters characteristic of this field. Particular attention was paid to evaluating the dispersing, dissolving, and foaming abilities of the studied formulations. During the laboratory experiments, a series of tests was conducted to determine the salting-out resistance of the dispersants at a temperature of 20 °C, as well as at temperatures close to reservoir conditions encountered during well operation. The obtained results made it possible to identify several reagents that maintain stability in a mineralized aqueous environment and are not prone to precipitation or aggregation. Among the tested samples, ARPD dispersants No.1, No.2, and No.8 demonstrated the best performance: they effectively disrupt the structure of paraffin deposits, promote their dispersion, and are fully compatible with the formation waters of the Uzen field. The experimental data obtained formed the basis for compiling a list of reagents recommended for pilot field testing and subsequent industrial implementation of ARPD mitigation technologies under complicated operating conditions of oil wells in the Uzen field.

Keywords: ARPD dispersants, salting-out capacity, mineralized waters, dispersion, foaming ability, Ozen field, water-soluble reagents.

Введение. Осложнения, вызванные выпадением асфальтено-смолопарафиновых отложений (АСПО), остаются критическим фактором, снижающим эффективность добычи на месторождениях с тяжелой и высокопарафинистой нефтью. Формирование осадка в призабойной зоне, лифтовых колоннах и наземных коммуникациях провоцирует резкое падение дебитов и рост гидравлических потерь, что неизбежно ведет к удорожанию эксплуатации скважин. В контексте глобальных прогнозов, указывающих на рост энергопотребления к 2040 году до 111,1 млн баррелей в сутки [1,2], вопрос поддержания рентабельности зрелых активов становится первостепенным. В условиях истощения традиционных запасов [3], эффективная борьба с АСПО выступает необходимым элементом реализации третичных методов повышения нефтеотдачи.

В нефтяной промышленности первичная и вторичная фазы называются традиционными методами извлечения нефти. С другой стороны, третичная фаза называется интенсифицированным извлечением нефти (ИИН) [4]. Первичная добыча обеспечивает извлечение менее 30% первоначальных запасов нефти в пласте за счет естественного притока и искусственного подъема [4,5]. Первоначально сырая нефть естественным образом вытекает из пласта под действием собственного давления [6,7]. В этом процессе задействовано несколько механизмов, включая вытеснение растворенным газом (важно в месторождениях тяжелой нефти) [8], вытеснение газовой шапкой [9], вытеснение водой [10], расширение горных пород и жидкости [11, 12] и гравитационный дренаж [13]. Во многих случаях первичная добыча поддерживается комбинаци-

ей этих движущих механизмов [12].

Длительная эксплуатация месторождения неизбежно ведет к истощению пластовой энергии и падению дебитов, что математически описывается законом Дарси. Для интенсификации притока обычно увеличивают депрессию на пласт путем снижения забойного давления (ЗД). В условиях, когда естественного напора становится недостаточно для подъема жидкости на поверхность, внедряются методы механизированной добычи. Использование систем искусственного лифта позволяет компенсировать дефицит пластовой энергии, накопившийся за годы активной разработки [14].

Мировая практика нефтедобычи опирается на широкий арсенал методов механизированной эксплуатации, включая газлифт, установки электроцентробежных насосов (УЭЦН), штанговые (ШГН) и гидравлические струйные насосы, а также плунжерные системы. Оптимальный выбор конкретного способа - подъема-это многофакторная задача. Инженерные решения здесь базируются не только на термобарических условиях (пластовое давление и температура) и реологических свойствах продукции, но и на особенностях конструкции забоя. Не менее значимыми оказываются внешние факторы: от климатических условий и логистической доступности региона до квалификации обслуживающего персонала и общей экономической рентабельности проекта [15].

При исчерпании потенциала первичной добычи технологический цикл переходит в фазу вторичных методов, направленных на поддержание пластовой энергии через заводнение или газовую репрессию [16]. Механизм заводнения базируется на создании фронта вытеснения путем нагнетания воды, однако полная выработка запасов при этом недостижима. Основным препятствием выступает геологическая неоднородность: наличие высокопроницаемых каналов («пропластков») провоцирует преждевременные прорывы воды к забоям добывающих скважин, оставляя значительные зоны пласта не дренируемыми. Кроме того, ситуацию осложняет наличие АСПО и действие капиллярных сил. За счет высокого межфазного натяжения на границе «нефть-вода» органические компоненты и остаточная нефть блокируются в поровых каналах матрицы, что существенно снижает коэффициент вытеснения.

Нефти месторождения Узень характеризуются критически высоким содержанием парафиновых углеводородов, смол и асфальтенов, что переводит их в разряд наиболее сложных объектов для добычи. Данный компонентный состав предопределяет аномально высокую температуру застывания и развитие жесткой пространственной структуры при охлаждении. Склонность к формированию стойких водонефтяных эмульсий и выраженные структурно-механические свойства такой продукции создают условия для лавинообразного накопления АСПО. В этой связи подбор химических реагентов для ингибирования и удаления осадков должен учитывать уникальную физико-химическую природу флюидов именно этого региона.

Использование водорастворимых диспергаторов-стратегически важное решение для нейтрализации АСПО. Механизм их работы заключается в адсорбции на твердых частицах парафинов, что создает устойчивую суспензию в водной фазе и блокирует процессы агрегации. Это препятствует повторному налипанию (адгезии) осадков на внутренние стенки НКТ и наземных коммуникаций. Тем не менее, результативность таких реагентов лимитирована их коллоидно-химической стабильностью. В условиях высокой минерализации пластовых вод и специфических термобарических режимов конкретного объекта, критическое значение приобретает подбор составов, не теряющих функциональность при контакте с агрессивной средой.

В связи с этим актуальной научно-практической задачей является исследование эффективности диспергаторов асфальтено-смолопарафиновых отложений с учётом физико-химических характеристик нефти и промысловых вод месторождения Узень. Особое значение приобретает комплексная лабораторная оценка диспергирующей способности реагентов, их устойчивости к эффекту высаливания и влияния

на процессы подготовки нефти.

Настоящая работа направлена на экспериментальную оценку эффективности диспергаторов АСПО применительно к специфическим условиям месторождения Узень. На основе комплекса лабораторных тестов мы стремимся не просто выявить наиболее стабильные составы, но и научно обосновать перечень реагентов, которые обеспечат максимальную результативность в ходе предстоящих опытно-промысловых испытаний и их последующего промышленного внедрения.

Материалы и методы исследований. Экспериментальная часть базировалась на анализе аутентичных проб нефти и пластовой воды, отобранных на месторождении Узень. Методика оценки эффективности диспергаторов включала не только расчет их классической растворяющей и диспергирующей способности, но и обязательный скрининг на совместимость с высокоминерализованной водной средой и деэмульгатором, применяемым на объекте. Все измерения проводились в температурных режимах, имитирующих реальные условия работы скважин. Для финального выбора мы использовали многокритериальный подход, учитывающий, как физико-химические параметры составов, так и их технологическую применимость.

Исходный перечень испытуемых реагентов был представлен образцами с различной химической основой и агрегатным состоянием (см. Таблицу 1). На этапе предварительного отбора мы отсеяли составы, показавшие неудовлетворительную растворимость или склонность к образованию вторичных осадков при контакте с пластовой водой.

Таблица 1 - Характеристика образцов диспергаторов АСПО, использованных в лабораторных исследованиях

№	Условное обозначение реагента	Агрегатное состояние	Примечание
1	ДАСПО №1	Жидкий	
2	ДАСПО №2	Жидкий	
3	ДАСПО №3	Жидкий	
4	ДАСПО №4	Жидкий	
5	ДАСПО №5	Жидкий	исключён из исследований
6	ДАСПО №6	Жидкий	исключён из исследований
7	ДАСПО №7	Жидкий	
8	ДАСПО №8	Жидкий	
9	ДАСПО №9	Жидкий	
10	ДАСПО №10	Твердый	
11	ДАСПО №11	Твердый	

Таким образом, в подборе ДАСПО в условиях месторождения Узень в лабораторных испытаниях приняли участия 9 образцов реагента, где 7 из них жидких и 2 твердых. В лабораторных исследованиях использовались опытные образцы диспергаторов асфальтено-смолопарафиновых отложений (ДАСПО) различного состава и агрегатного состояния, поступившие для сравнительной оценки эффективности. В целях конфиденциальности наименования реагентов в работе представлены условно. С химической точки зрения, исследуемые ДАСПО представляют собой композиции на основе водорастворимых поверхностно-активных веществ (ПАВ), пре-

имущественно неионогенного и анионного типов. Их функциональное действие обеспечивается наличием активных гидрофильных групп, которые способствуют адсорбционному понижению прочности парафиновых отложений и гидрофилизации их поверхности, что препятствует агрегации частиц. Ряд образцов мы отсеяли еще на стадии входного контроля: они не прошли проверку на коллоидную стабильность в агрессивной минерализованной среде и продемонстрировали низкую растворимость. Для проведения тестов использовались пробы флюидов месторождения Узень, которые выступали в роли базовых моделей. Выбор данных сред обусловлен их специфическим составом-аномально высокой концентрацией парафинов и значительной минерализацией водной фазы. Все измерения проводились в строгом соответствии с отраслевыми стандартами. Для обеспечения статистической достоверности и воспроизводимости результатов каждый эксперимент выполнялся в трехкратной повторности (n=3). Результаты представлены в виде средних арифметических значений со стандартным отклонением (±SD). Внешний вид реагентов оценивали визуально в проходящем свете. Плотность измеряли при температуре 20 °C в соответствии с СТ РК ISO 12185. Температуру застывания определяли по ГОСТ 20287 (метод Б) без предварительного обезвоживания и нагрева продукта. Температуру начала кипения определяли по ГОСТ 2177. Кинематическую вязкость измеряли при температуре 20 °C согласно ГОСТ 31391. Массовую долю активного вещества определяли методом термообработки навески реагента при температуре (105 ± 2) °C.

Для формирования объективной картины эффективности диспергаторов в условиях месторождения Узень мы реализовали комплексную программу испытаний. Оценка базировалась на трех критических параметрах: во-первых, изучалась устойчивость химических составов к высаливанию при их смешивании с высокоминерализованными пластовыми водами. Во-вторых, определялась непосредственная диспергирующая активность реагентов по отношению к органическим осадкам. Третьим этапом стал контроль пенообразующей способности, так как избыточное пенообразование может негативно влиять на последующие процессы подготовки нефти.

Эффект высаливания оценивали при смешении диспергаторов с минерализованной промысловой водой. Оценка проводилась визуально по наличию или отсутствию осадка, мутности либо образования коллоидных агрегатов в водной фазе. Образование осадка или взвешенных хлопьев расценивалось как отрицательный результат и свидетельствовало о несовместимости реагента с пластовой водой.

Диспергирующую способность реагентов определяли на модельных парафиновых отложениях, предварительно расплавленных в водных растворах диспергаторов с концентрациями 0,05; 0,1 и 0,2 %. Резкое охлаждение смеси (раствор реагента и расплав АСПО) проводилось путем помещения колб в водяную баню с температурой 20 °C (скорость охлаждения составляла 5–7 °C/мин). Характер и размер образовавшихся частиц оценивались методом оптической микроскопии с использованием микроскопа Биомед-6] при 100-кратном увеличении. Визуальная оценка устойчивости дополнялась замером высоты осевшего слоя частиц через фиксированные промежутки времени (15, 30, 60 минут). Параллельно выполняли контрольные испытания с использованием пластовой воды без добавления химического реагента.

Для наглядного сравнения эффективности исследуемых составов была построена зависимость степени диспергирования АСПО от концентрации реагента (Рисунок 1). Как видно из графика, для образцов ДАСПО №1, №2 и №8 наблюдается стабильно высокая эффективность (более 90%) уже при минимальной дозировке 0,05 %, в то время как для образцов №11 и №4 эффективность резко снижается при переходе к минерализованным средам, что подтверждает их чувствительность к солевому составу воды.

Эффективность диспергирования оценивалась количественно с использованием следующих метрик: степень диспергирования (%) - рас-

считывалась как доля массы АСПО, перешедших в объем водной фазы; размер частиц (мкм) - определялся методом оптической микроскопии; время седиментации (мин/ч) - фиксировалось как период до начала визуального осаждения диспергированной фазы; степень загрязнения поверхности (%) - оценивалась как процент площади стенок сосуда, покрытой остаточной адгезией парафинов после слива жидкости.

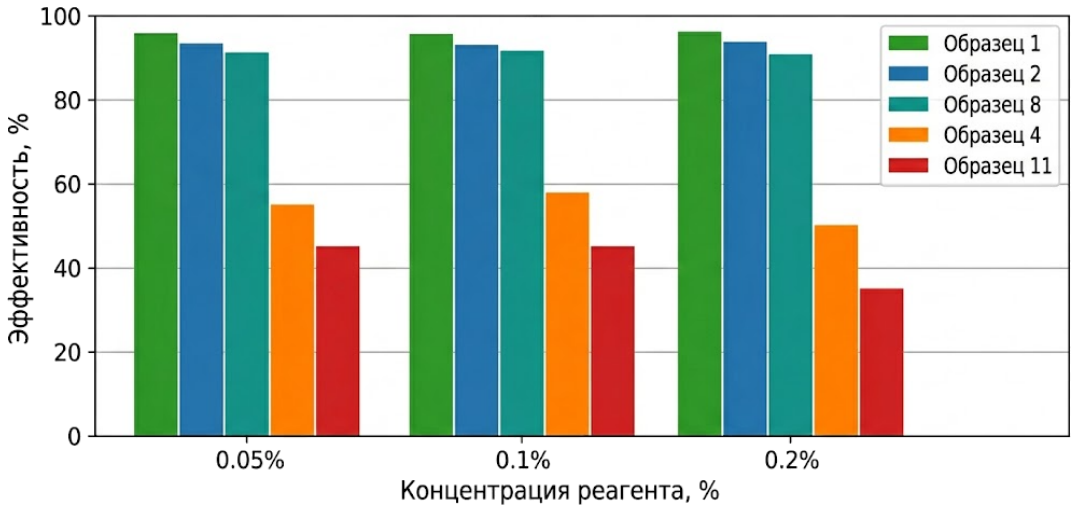


Рис.1 - Зависимость степени диспергирования АСПО от концентрации исследуемых реагентов

Более высокая эффективность диспергатора соответствовала большей доле АСПО, находящихся в объёме воды в диспергированном состоянии, и меньшей склонности отложений к адгезии на стенках колбы.

Пенообразующая способность определялась по методу встряхивания в мерных цилиндрах объемом 100 мл. В цилиндр вносилось 50 мл рабочего раствора реагента, после чего производилось 10 интенсивных встряхиваний в течение 30 секунд. Фиксировались два показателя: начальный объем пены (мл) сразу после встряхивания и время полной деструкции пенного слоя (мин/сек) в статических условиях при комнатной температуре. Оценка проводилась с использованием качественной шкалы, основанной на фиксированных значениях объёма пены, что позволяло сопоставить реагенты между собой по данному показателю.

Поверхностное натяжение обычно определяется как сила притяжения между молекулами, существующими на границе раздела двух жидкостей [17]. Межфазное натяжение между молекулами углеводородов и воды приводит к увеличению капиллярной силы, которая играет важную роль в улавливании углеводородов в пористых средах. Поэтому для снижения межфазного натяжения используется введение поверхностно - активного вещества [18].

Результаты и обсуждение. Состав асфальтено-смолопарафиновых отложений месторождения Узень.В процессе лабораторных исследований был изучен состав образца асфальтено-смолопарафиновых отложений (АСПО) месторождения Узень. Физико-химические характеристики исследуемых диспергаторов асфальтено-смолопарафиновых отложений (АСПО) определялись с целью оценки их технологической пригодности для применения в условиях месторождения Узень. Результаты анализа состава отложений АСПО представлены в таблице 2. Согласно полученным данным, исследуемые отложения относятся к парафиновому типу и характеризуются значительным содержанием парафиновых углеводородов, а также присутствием асфальтенов, смол и механических примесей. Подобный состав отложений обусловливает образование плотных и трудноразрушаемых

структур в насосно-компрессорных трубах и призабойной зоне скважин, что приводит к снижению дебита скважин и ухудшению условий эксплуатации оборудования. Наличие смолисто-асфальтеновых компонентов способствует повышению адгезионной прочности отложений и их устойчивости к механическому воздействию, что требует применения эффективных химических реагентов-диспергаторов.

Таблица 2 - Состав отложений АСПО месторождения Узень

Содержание, % масс.				**Тип отложений**
парафины	асфальтены	смолы	мех. примеси	парафиновый

В зависимости от отношения содержания парафинов к сумме содержания смол и асфальтенов [П/(С+А)] испытуемый образец АСПО относится к парафиновому типу, количественно содержащий (в % масс.): механических примесей-4,1, асфальтены - 0,2, смолы-10,7 и парафины-20,6.

Водные растворы диспергатора можно классифицировать как моющие смеси, поскольку их действие сводится, в основном, не к растворению составляющих АСПО, а к их диспергированию и отмыву. Для достижения максимальной эффективности при отмыве от АСПО диспергаторы должны гидрофилизировать компоненты отложений и проявлять эффект адсорбционного понижения их прочности. Результаты испытаний подтверждают литературные данные о том, что для высокоминерализованных сред наиболее эффективны композиции ПАВ, способные к устойчивой адсорбции на границе раздела фаз без изменения фазового состояния самой моющей системы. Выбранные реагенты (№ 1, № 2, №8), в отличие от твердых пастообразных форм (например, №11), обеспечивают более глубокое диспергирование парафиновых компонентов. Их преимущество состоит в формировании устойчивой гидрофильной пленки на частицах АСПО, что, согласно механизму адсорбционного понижения прочности, препятствует их повторной агрегации и адгезии на стенках НКТ даже в условиях жестких пластовых вод.

Физико-химические характеристики исследуемых диспергаторов асфальтено-смолопарафиновых отложений (АСПО) определялись с целью оценки их пригодности для применения в условиях месторождения Узень. Основные параметры испытуемых жидких образцов ДАСПО, включая внешний вид, плотность при 20 °С, кинематическую вязкость, содержание активного вещества, температуры застывания и кипения, а также растворимость в воде и нефти, представлены в таблице 3. Анализ представленных данных показывает, что содержание активного вещества в исследуемых реагентах варьируется в широком диапазоне: от 1,00 % (ДАСПО №7) до 97,98 % (ДАСПО №4). Столь существенная разница в концентрации активной фазы позволяет оценить эффективность как готовых к применению товарных форм, так и высококонцентрированных основ реагентов. При этом для лабораторных тестов на диспергирующую способность использовались рабочие концентрации растворов 0,05; 0,1 и 0,2 %

Испытуемые жидкие образцы ДАСПО представляют собой однородные жидкости с допустимыми значениями плотности, кинематической вязкости и массовой доли активного вещества. Все образцы характеризуются устойчивостью к отрицательным температурам, что является важным фактором при эксплуатации в условиях промысловой добычи.

Следует отметить, что один из образцов характеризуется существенно повышенной вязкостью (более 700 мм²/с при 20 °С), что может ограничивать его применение в технологических схемах, требующих высокой текучести реагента и равномерного распределения в системе. (таблица 4)

Таблица 3 - Физико-химические характеристики испытуемых жидких образцов ДАСПО

№	Реагент	Внешний вид	ρ(20°C), кг/м^3	μкинем. (20°C), мм^2/с	Wакт. вещ., %	T, °C		Раствори-мость в	
						заст.	кип.	воде	нефти
1	ДАСПО1	однородная прозрачная жидкость светло-желтого цвета	1082,4	45,11	42,11	– 18,5	96,5	+	_
2	ДАСПО2	однородная прозрачная бесцветная жидкость	889,8	4,34	32,36	–45	50	+	_
3	ДАСПО3	однородная прозрачная жидкость желтого цвета, слегка мутная	905,8	13,10	6,24	–36	107	_	+
4	ДАСПО4	однородная прозрачная жидкость темно-коричневого цвета	960,1	770,68	97,98	–19	130	-	+
5	ДАСПО7	однородная прозрачная жидкость коричневого цвета	843,8	0,70	1,00	–45	42	-	+
6	ДАСПО8	Однородная прозрачная жидкость светло-желтого цвета	873,5	3,32	24,55	–45	70	+	-
7	ДАСПО9	Однородная прозрачная жидкость светло-коричневого цвета	888,3	1,93	10,41	–45	75	-	+

Таблица 4 - Физико-химические характеристики испытуемых твердых образцов ДАСПО

№	Наимено-вание образца	Физико-химические показатели				
		Форма	Содержание влаги,%	Насыпная плотность, г/см^3	Раствори-мость в	
					Воде	нефти
1	ДАСПО №10	прозрачные шарики правильной формы	0,31	0,56	-	-
2	ДАСПО №11	однородная пастообразная масса серо-коричневого цвета с включениями гранул белого цвета	16,72	-	+	-

Твёрдые образцы ДАСПО отличаются по агрегатному состоянию, содержанию влаги и растворимости. Отсутствие растворимости в воде и нефти у части образцов указывает на их ограниченную применимость в качестве диспергаторов АСПО в водных системах.

На основании анализа физико-химических характеристик, а также показателей растворимости в воде и нефти, был проведён предварительный отбор реагентов для последующих исследований. К дальнейшим испытаниям на совместимость с минерализованными промысловыми водами, а также для оценки диспергирующих свойств и пенообразующей способности были допущены водорастворимые образцы диспергаторов с удовлетворительными реологическими характеристиками и достаточной массовой долей активного вещества.

Водные растворы отобранных диспергаторов по механизму действия могут быть отнесены к моющим системам, поскольку их эффективность обусловлена преимущественно процессами диспергирования и отмыва компонентов АСПО, а не их полного растворения. Для достижения высокой эффективности реагенты должны обеспечивать гидрофилизацию компонентов отложений и снижение их структурной прочности за счёт адсорбционного воздействия, что способствует предотвращению агрегации и повторного осаждения парафиновых частиц.

Полученные результаты позволили сформировать обоснованный перечень реагентов, рекомендованных для последующего этапа лабораторных исследований, направленных на оценку диспергирующей способности и пенообразующих свойств в условиях, моделирующих эксплуатационные параметры месторождения Узень.

Для оценки совместимости диспергаторов АСПО (ДАСПО) с минерализованными водами месторождения Узень проводилось определение их высаливающей способности. Данная характеристика позволяет выявить потенциальные риски при использовании реагентов в промысловых условиях и получить качественную информацию о поведении ДАСПО в контакте с попутно-добываемыми водами.

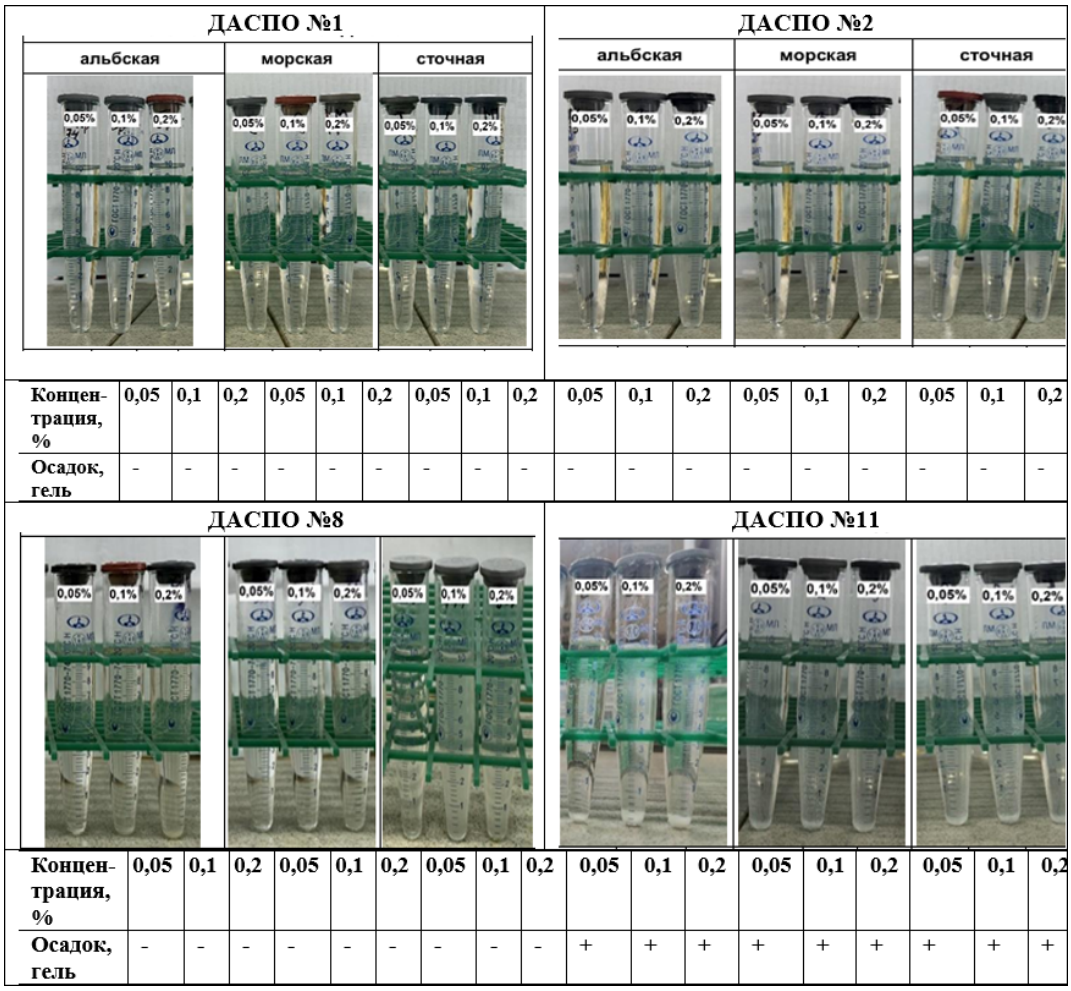
Испытания выполнялись путем смешения образцов промысловых вод с ДАСПО при различных концентрациях. Смеси тщательно перемешивались, герметично закрывались и выдерживались в течение 3 часов при комнатной температуре. В качестве контрольной пробы использовалась минерализованная вода без добавления реагента. Используемые воды характеризовались высокой общей минерализацией: сточная вода - 120 г/л, морская - 18 г/л, альбсеноманская -80 г/л. Основной солевой состав представлен хлоридами натрия, кальция и магния. Испытания проводились при соотношении фаз реагент: минерализованная вода, соответствующем рабочим концентрациям 0,05%, 0,1% и 0,2% по массе. Выдержка смесей в течение 3 часов осуществлялась при двух температурных режимах: 20 °С и пластовой температуре 60 °С.

Наличие эффекта высаливания оценивалось визуально по появлению осадка или мутности в водной фазе. В случае выпадения осадка или образования взвешенных коллоидных частиц результат считался отрицательным. Допускается расслоение смеси ДАСПО/минерализованная вода при отсутствии видимого осадка.

Результаты определения высаливающей способности исследуемых диспергаторов при комнатной температуре представлены на рисунке 2. Анализ полученных данных показал, что устойчивость реагентов в минерализованной водной среде существенно различается в зависимости от их химического состава и структуры активных компонентов. Так, при испытании образцов ДАСПО №1, №2 и №8 не наблюдалось выпадения осадка или признаков фазового разделения, что свидетельствует об их хорошей растворимости и высокой совместимости с минерализованными пластовыми водами месторождения Узень. Отсутствие эффекта высаливания у данных реагентов указывает на стабильность их коллоидной системы и способность сохранять диспергирующие свойства даже при повышенной минерализации среды. В то же время образец ДАСПО №11 проявил выраженный эффект высаливания с образованием осадка, что свидетельствует о его низкой устойчивости в минерализованных

растворах. В связи с этим данный реагент был исключен из дальнейших исследований.

В отличие от образца ДАСПО №11 и ранее исключенных составов (№5, №6), которые продемонстрировали низкую коллоидную стабильность и склонность к образованию вторичных осадков при контакте с высокоминерализованной водой, реагенты ДАСПО №1, №2 и №8 сохраняли полную прозрачность и однородность систем. Преимущество данных составов заключается в их способности эффективно работать в условиях экстремальной минерализации сточных, морских и альбсеноманских вод месторождения Узень не только при 20 °С, но и при пластовой температуре 60 °С. Это обеспечивает минимизацию технологических рисков, связанных с блокировкой порового пространства или повреждением оборудования вторичными отложениями, что часто является критическим недостатком многих промышленных аналогов на основе солей жирных кислот.



Концентрация, %	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2
Осадок, гель	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Концентрация, %	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2
Осадок, гель	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Рис.2 - Результаты определения эффекта высаливания исследуемых ДАСПО с промысловыми водами месторождения Узень

Дополнительно была проведена оценка высаливающей способности выбранных образцов при температуре 60 °С, соответствующей пластовым условиям месторождения Узень. Повышение температуры может существенно влиять на растворимость реагентов, устойчивость их дисперсной системы и характер взаимодействия активных компонентов с минерализованной водной фазой, поэтому проведение данных испытаний является важным этапом лабора-

торной оценки технологической эффективности диспергаторов. В условиях повышенных температур могут происходить изменения структуры поверхностно-активных веществ, а также усиливаться процессы агрегации или, наоборот, стабилизации дисперсных систем. По результатам проведённых экспериментов осадкообразование также не наблюдалось для диспергаторов ДАСПО №1, №2 и №8. Это свидетельствует о высокой термической устойчивости исследуемых реагентов и подтверждает их способность сохранять эксплуатационные свойства при температурах, характерных для реальных условий добычи нефти на месторождении Узень. Кроме того, отсутствие признаков высаливания у данных составов указывает на их хорошую совместимость с минерализованными пластовыми водами и стабильность в водонефтяных системах. Полученные результаты позволили рекомендовать данные реагенты для дальнейших лабораторных исследований, направленных на оценку эффективности разрушения, диспергирования и предотвращения повторного образования асфальтено-смолопарафиновых отложений в условиях эксплуатации скважин месторождения Узень.

Сравнительный анализ термической стабильности реагентов при 20 °C и 60 °C представлен на Рисунке 3. Визуализация данных подтверждает, что отобранные составы (№1, №2, №8) сохраняют фазовую устойчивость независимо от температурного фактора, в то время как образец №11 демонстрирует практически полную потерю растворимости и выпадение в осадок при обеих температурах. Данная графическая интерпретация подчеркивает преимущество выбранных реагентов для применения в реальных пластовых условиях месторождения Узень.

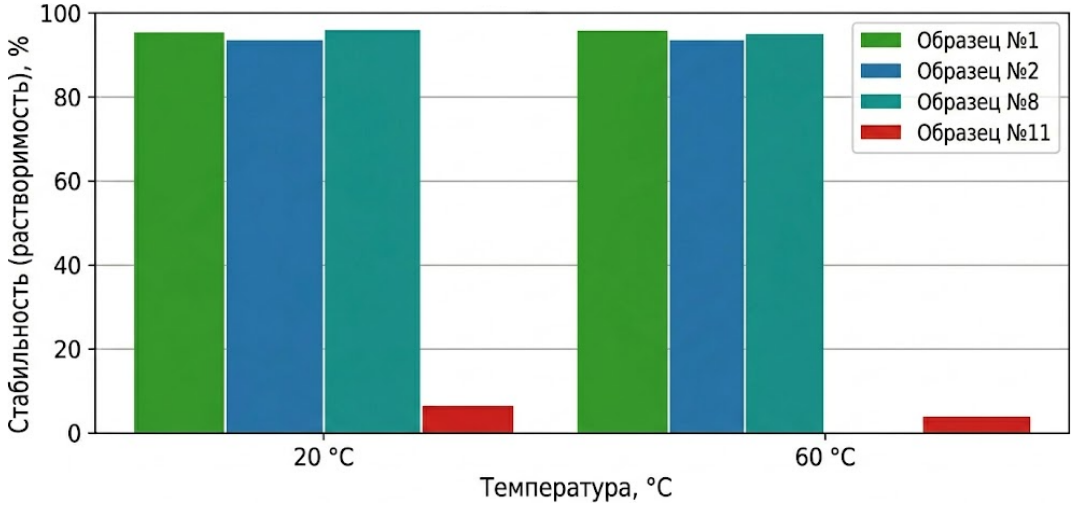


Рис.3 - Результаты оценки фазовой стабильности реагентов при температурах 20 °C и 60 °C

Выводы. Выполненные лабораторные исследования позволили комплексно оценить состав асфальтено-смолопарафиновых отложений месторождения Узень и физико-химические свойства диспергаторов, предназначенных для их предупреждения и удаления. Установлено, что парафиновый характер АСПО определяет целесообразность применения реагентов с выраженными диспергирующими свойствами, обеспечивающих разрушение структурированных отложений и предотвращение их повторного осаждения.

На основании полученных экспериментальных данных сформирован обоснованный перечень водорастворимых диспергаторов, рекомендованных для дальнейших лабораторных исследований, направленных на оценку их диспергирующей способности, устойчивости к высаливанию в минерализованных водах и пенообразующих свойств. Сравнительный анализ пока-

зал, что реагенты ДАСПО №1, №2 и №8 по совокупности параметров (растворимость, термостабильность, отсутствие высаливания) превосходят альтернативные образцы, представленные в исследовании. Если твердые и малорастворимые составы создают риск образования дополнительных пробок, то отобранная группа жидких диспергаторов обеспечивает стабильное действие в широком диапазоне минерализации, что делает их наиболее перспективными для промышленного внедрения на объектах с аномально высоким содержанием парафинов, таких как месторождение Узень.

Результаты настоящей работы могут быть использованы при выборе химических реагентов для проведения опытно-промысловых испытаний и последующего промышленного внедрения технологий борьбы с асфальтено-смолопарафиновыми отложениями на месторождении Узень и аналогичных по геолого-промысловым условиям объектах.

Лабораторные испытания высаливающей способности диспергаторов АСПО показали, что выбранные реагенты (ДАСПО №1, №2 и №8) совместимы с минерализованными водами месторождения Узень при различных температурах, что подтверждает их пригодность для дальнейших исследований по оценке диспергирующих и пенообразующих свойств.

Результаты работы позволяют сделать следующие заключения:

1. На основе данных о компонентном составе и показателе П/(С+А) установлено, что отложения на месторождении Узень являются преимущественно парафиновыми. Это обуславливает их склонность к быстрому формированию жестких структур и налипанию на стенки НКТ.

2. Физико-химический профиль испытуемых реагентов крайне неоднороден. Установлено, что разница в массовой доле активного вещества (от 1,00 до 97,98 %) и химической природе ПАВ является ключевым фактором, определяющим стабильность реагентов в высокоминерализованных средах и их способность к эффективному отмыву парафиновых компонентов. Разница в растворимости и массовой доле активной фазы служит ключевым фактором, ограничивающим или расширяющим возможности использования конкретного диспергатора в технологическом цикле.

3. Мы выявили группу реагентов с неудовлетворительной водорастворимостью. Ввиду несоответствия требуемым реологическим параметрам, эти образцы были исключены из программы испытаний как непригодные для промышленной эксплуатации.

4. По совокупности физико-химических показателей и показателей растворимости выполнен предварительный отбор водорастворимых диспергаторов, обладающих удовлетворительной текучестью, устойчивостью к отрицательным температурам и достаточной массовой долей активного вещества.

5. Показано, что механизм действия отобранных диспергаторов обусловлен преимущественно процессами диспергирования и отмыва компонентов АСПО, сопровождающимися гидрофилизацией парафиновых частиц и снижением структурной прочности отложений.

6. Проведено определение высаливающей способности исследуемых диспергаторов АСПО с минерализованными промысловыми водами месторождения Узень. Установлено, что образцы ДАСПО №1, №2 и №8 проявляют полную совместимость с водами как при комнатной температуре, так и при пластовой температуре 60 °С, не вызывая образования осадка или мутности.

7. Образец ДАСПО №11 демонстрирует эффект высаливания с образованием осадка и, следовательно, исключается из дальнейших лабораторных и опытно-промысловых исследований.

8. Полученные результаты позволяют отобрать водорастворимые реагенты с устойчивостью к высаливанию, что является важным критерием для их безопасного применения в промысловых условиях, обеспечивая минимизацию технологических рисков и стабильное действие диспергатора на парафиноотложения.

Таким образом, комплексная оценка химиче-

ских и физико-химических характеристик диспергаторов, включая их высаливающую способность, позволяет сформировать обоснованный перечень реагентов, рекомендованных для последующих опытно-промысловых испытаний и промышленного внедрения на месторождении Узень и аналогичных по геолого-промысловым условиям объектах.

Финансирование. *Работа выполнена при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP26101849).*

Литература

1. Karatayev M., Movkebayeva G., Bimagambetova Z. Increasing Utilisation of Renewable Energy Sources: Comparative Analysis of Scenarios Until 2050: Policy Challenges and Solutions for Resouce Efficiency//Energy Security. -2019.-PP.37-68. DOI 10.1007/978-3-030-01033-1_3.

2. Zhang J., Gao H., Xue Q. Potential applications of microbial enhanced oil recovery to heavy oil //Crit. Rev. Biotechnol. - 2020.-Vol.40(4). -P.459-474. DOI 10.1080/07388551.2020.1739618.

3. Liu Q., Niu J., Yu Y., Wang C., Lu S., Zhang S., Lv J., Peng B. Production, characterization and application of biosurfactant produced by Bacillus licheniformis L20 for microbial enhanced oil recovery//J. Clean. Prod.-2021.-Vol.307:27193. DOI 10.1016/j.jclepro.2021.127193.

4. Pogaku R., Mohd Fuat N.H., Sakar S., Cha Z.W., Musa N., Awang Tajudin D.N.A., Morris L.O. Polymer flooding and its combinations with other chemical injection methods in enhanced oil recovery//Polym. Bull. - 2018. -Vol.75.-PP.1753-1774. DOI 10.1007/s00289-017-2106-z.

5. Saravanan S., Keerthana S. Floquet instability of gravity-modulated salt fingering in a porous medium//Ind. Eng. Chem. Res.-2017.-Vol.56(10). - PP.2851-2864. DOI 10.1021/acs.iecr.6b03866.

6. Grassia P., Torres-Ulloa C., Berres S., Mas-Hernández E., Shokri N. Foam front propagation in anisotropic oil reservoirs//Eur. Phys. J. E.-2016.-Vol.39: 42. DOI 10.1140/epje/i2016-16042-5.

7. Kapustin N.O., Grushevenko D.A. Global oil market: an outlook to 2030. How will the balance of supply and demand change over the next ten years? // Int. J. Oil Gas Coal Technol. - 2023. - Vol.33(4). – PP.315-335. DOI 10.1504/IJOGCT.2023.132497.

8. He C., Fan Z., Xu A., Zhao L. Foamy oil properties and horizontal well inflow performance relationship under solution gas drive//Geosystem Eng.-2019.-Vol.22(3). -PP.151-160. DOI 10.1080/12269328.2018.1504698.

9. Rezaei A., Riazi M., Escrochi M., Elhaei R. Integrating surfactant, alkali and nano-fluid flooding for enhanced oil recovery: A mechanistic experimental study of novel chemical combinations//J. Mol. Liq. - 2020. -Vol.308. DOI 10.1016/j.molliq.2020.113106.

10. Tayari F., Blumsack S., Johns R.T., Tham S., Ghosh S. Techno-economic assessment of reservoir heterogeneity and permeability variation on economic value of enhanced oil recovery by gas and foam flooding//J.Petrol.Sci.Eng.-2018.-Vol.166.-PP.913-923.DOI 10.1016/j.petrol.2018.03.053.

11. Agi A., Junin R., Gbonhinbor J., Onyekonwu M. Natural polymer flow behaviour in porous media for enhanced oil recovery applications: A review//J. Pet. Explor. Prod. Technol.-2018. - Vol.8.- PP.1349-1362. DOI 10.1007/s13202-018-0434-7.

12. Gyan P.S., Xie C., Brantson E.T., Atuahene S. Computer modeling and simulation for undersaturated primary drive recovery mechanism//Adv.Mech. Eng.-2019.-Vol.11(5). DOI 10.1177/1687814019841948.

13. Aljuboori F.A., Lee J.H., Elraies K.A., Stephen K.D. Gravity drainage mechanism in naturally fractured carbonate reservoirs; Review and application // Energies. - 2019. - Vol.12(19): 3699. DOI 10.3390/en12193699.

14. Mohr S.H., Wang J., Ellem G., Ward J., Giurco D. Projection of world fossil fuels by country // Fuel.-2015. - Vol.14. - PP.120-135. DOI 10.1016/j.energy.2020.117718.

15. Davarpanah A., Mirshekari B. Experimental study and field application of appropriate selective calculation methods in gas lift design//Pet. Res.-2018.-Vol.3(3). -PP.239-247. DOI 10.1016/j.ptlrs.2018.03.005.

16. Haq B., Liu J., Liu K., Al Shehri D. The role of biodegradable surfactant in microbial enhanced oil recovery//Petr.Sci. Eng. - 2020. -Vol.189:106688. DOI 10.1016/j.petrol.2019.106688.

17. Cong Y., Zhang W., Liu C., Huang F. Composition and oil-water interfacial tension studies in different vegetable oils//Food Biophys. -2020.-Vol.15(3). -PP.1-11.DOI 10.1007/s11483-019-09617-8.

18. Hosseininoosheri P., Lashgari H.R., Sepehrnoori K. A novel method to model and characterize in-situ bio-surfactant production in microbial enhanced oil recovery//Fuel. -2016.-Vol.183.- PP.501-511. DOI 10.1016/j.fuel.2016.06.035.

Сведения об авторах

Баямирова Р.У.- кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры Нефтехимический инжиниринг Университета Есенова, Актау, Казахстан, e-mail: ryskol.bayamirova@yu.edu.kz;

Тогашева А.Р.- кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры Нефтехимический инжиниринг Университета Есенова, Актау, Казахстан, e-mail: aliya.togasheva@yu.edu.kz;

Садуакасов Д.С.- кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры Нефтехимический инжиниринг Университета Есенова, Актау, Казахстан, e-mail: danabek.saduakassov@yu.edu.kz;

Жолбасарова А.Т.- кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры Нефтехимический инжиниринг Университета Есенова, Актау, Казахстан, e-mail: akshyryn.zholbassarova@yu.edu.kz;

Нурлыбай Н.- докторант, Университет Есенова, Актау, Казахстан, e-mail: nurzhaina.nurlybay@yu.edu.kz

Information about the authors

Bayamirova R. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Geology and Petrochemical Engineering, Yessenov University, Aktau, Kazakhstan, e-mail: ryskol.bayamirova@yu.edu.kz;

Togasheva A. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Geology and Petrochemical Engineering, Yessenov University, Aktau, Kazakhstan, e-mail: aliya.togasheva@yu.edu.kz;

Saduakassov D.- Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Geology and Petrochemical Engineering, Yessenov University, Aktau, Kazakhstan, e-mail: danabek.saduakassov@yu.edu.kz;

Zholbasarova A.- Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Geology and Petrochemical Engineering, Yessenov University, Aktau, Kazakhstan, e-mail: akshyryn.zholbassarova@yu.edu.kz;

Nurlybay N.- PhD doctoral student, Yessenov University, Aktau, Kazakhstan, e-mail: nurzhaina.nurlybay@yu.edu.kz

МРНТИ 52.13.23 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1520**

ЖЕРАСТЫ ТАУ-КЕН ҚАЗБАЛАРЫН ТИІМДІ БЕКІТУГЕ АРНАЛҒАН ЛАТЕКСТІ-МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ПОЛИМЕРЦЕМЕНТТІ ТОРКРЕТБЕТОННЫҢ ҰТЫМДЫ ҚҰРАМЫН КЕШЕНДІ ЗЕРТТЕУ

Т.М. Алменов, Р.К. Жанакова, Б.А. Сейтказынова✉, Д.М. Шабаз

Satbayev University, Тау-кен металлургиялық институты, Алматы, Қазақстан

✉ *Корреспондент-автор: seitkazynovva@gmail.com*

Зерттеу-жер асты тау-кен тіректерінің техникалық, эксплуатациялық және экологиялық-экономикалық көрсеткіштерін жақсартуға бағытталған жаңа полимермен модификацияланған торкретбетон технологиясын ұсынады. Кешенді материалтану-инженерлік шеңберге негізделген зерттеу қоспа құрамын, қолдану әдісін және өнімділік көрсеткіштерін зерттеу үшін физика-химиялық сипаттама, эксперименттік модельдеу, зертханалық және in situ дала сынақтары, сондай-ақ қатаң статистикалық талдау әдістерін пайдаланады. Эксперименттік нәтижелер латекспен модификацияланған және SKS-65 GP B дәрежесіндегі сулы эмульсияны қамтитын қоспаның дәстүрлі формулаларға қарағанда сығылу беріктігі 45 % жоғары және қайта шашылу жоғалтуы 30 % төмен екенін көрсетеді; сонымен қатар оның серпімділігі, тасқа жабысу қасиеті, сызатқа төзімділігі және су өткізбейтіндігі жақсарған. Қолдау параметрлерін оңтайландыру қаптама қалыңдығын беріктікке зиян келтірмей 50 %-ға азайтуға мүмкіндік берді, бұл өз кезегінде кеннің пайдалы көлденең қимасын 5 %-ға арттырып, жалпы тіреу шығындарын 39 %-ға төмендетті. Нәтижелер жоғары қысымды тау-кен орталарында торкретбетонмен бекіту үшін экологиялық тұрақты әрі үнемді шешімді ұсынады. Зерттеудің жаңалығы латекпен байытылған торкретбетон құрамдарын әзірлеу мен растау және қолдану әдістемесін жетілдіруде; оның нәтижелері реологиялық бақылау, ұзақ мерзімді беріктік және кең ауқымды өнеркәсіптік енгізу бойынша әрі қарай зерттеулерге жаңа бағыттар ашады.

Түйін сөздер: жер асты тау-кен қазбалары; торкретбетон; торкретбетон құрамы; бекітпе; бекіту технологиясы; тиімді құрам.

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА ЛАТЕКС-МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИМЕРЦЕМЕНТНОГО НАБРЫЗБЕТОНА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО КРЕПЛЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Т.М. Алменов, Р.К. Жанакова, Б.А. Сейтказынова✉, Д.М. Шабаз

Satbayev University, Горно-металлургический институт, Алматы, Казахстан,
e-mail: seitkazynovva@gmail.com

В данном исследовании представлена новая технология применения полимермодифицированного торкретбетона, направленная на улучшение технических, эксплуатационных и социально-экономических показателей подземных горных выработок. Исследование, основанное на комплексном подходе в области материаловедения, посвящено изучению состава добавки, использует физико-химическую характеристику, экспериментальное моделирование, лабораторные и полевые испытания на месте, а также строгие методы статистического анализа для изучения состава смеси, метода нанесения и показателей эффективности. Результаты экспериментов показывают, что смесь, содержащая модифицированную латексом и водную эмульсию SKS-65 GP класса B, имеет прочность на сжатие на 45 % выше и потерю объема при осадке на 30 % ниже, чем традиционные составы; Кроме того, улучшены ее эластичность, адгезия к камню, устойчивость к царапинам и водонепроницаемость. Оптимизация параметров крепления позволила на 50 % уменьшить толщину слоя торкрет-бетона без ущерба для прочности, что, в свою очередь, увеличило извлекаемое сечение рудника на 5 % и сократило общие затраты на крепление на 39 %. Полученные результаты предлагают экологически устойчивое и экономически эффективное решение для армирования

торкрет-бетона в условиях горных работ под высоким давлением. Новизна исследования заключается в разработке и валидации торкрет-бетонных смесей, упрочненных латексом, а также в усовершенствовании методологии применения; Полученные результаты открывают новые возможности для дальнейших исследований в области реологического контроля, долгосрочной прочности и крупномасштабного промышленного внедрения.

Ключевые слова: подземные горные выработки; торкретбетон; состав торкретбетона; крепь; технология крепления; рациональные составы.

COMPREHENSIVE STUDY OF THE RATIONAL COMPOSITION OF LATEX-MODIFIED POLYMER-CEMENT SHOTCRETE FOR EFFECTIVE SUPPORT OF UNDERGROUND MINE WORKINGS

T.M. Almenov, R.K. Zhanakova, B.A. Seitkazynova✉, D.M. Shabaz

Satbayev University, Mining and Metallurgical Institute, Almaty, Kazakhstan
e-mail: seitkazynovva@gmail.com

This study presents a new polymer-modified shotcrete technology aimed at improving the technical, operational, and eco-economic performance of underground mine supports. The research, based on a comprehensive materials-engineering framework, examines the mixture composition, uses physicochemical characterization, experimental modeling, laboratory and in situ field tests, as well as rigorous statistical analysis methods to investigate the mixture composition, application method, and performance indicators. Experimental results show that the mixture containing latex-modified and SKS-65 GP B-grade water emulsion has a compressive strength 45% higher and a resettlement loss 30% lower than conventional formulas; Additionally, its elasticity, rock adhesion, scratch resistance, and waterproofing have been improved. Optimizing the support parameters enabled a 50% reduction in the shotcrete layer thickness without compromising strength, which in turn increased the mine' s recoverable cross-section by 5% and reduced overall support costs by 39%. The results offer an environmentally sustainable and cost-effective solution for shotcrete reinforcement in high-pressure mining environments. The novelty of the study lies in the development and validation of latex-fortified shotcrete mixes and the refinement of the application methodology; its results open new avenues for further research on rheological control, long-term strength, and large-scale industrial implementation.

Keywords: underground mine workings; shotcrete; shotcrete composition; support system; support technology; rational composition.

Кіріспе. Минералдық және шикізат ресурстарын тиімді игеру-ұлттық экономиканың тұрақты дамуын қамтамасыз етудің негізгі факторларының бірі. Осы тұрғыдан алғанда, тау-кен өнеркәсібіндегі өндіріс процестерінің қауіпсіздігін, технологиялық сенімділігін және экономикалық тиімділігін арттыруға бағытталған ғылыми-техникалық шешімдерді әзірлеу ерекше маңызға ие. Атап айтқанда, жер асты кен орындарын игеру тереңдігінің артуы, геологиялық жағдайлардың күрделенуі және жыныс массасының кернеу-деформациялық күйіндегі өзгерістер жер асты кен жұмыстарының тұрақтылығын қамтамасыз ету мәселесінің өзектілігін арттырады [1].

Осы жағдайда жер асты тау-кен қазбасын бекітпе жүйе сенімділігі өндіріс қауіпсіздігіне, қазбаның ұзақ мерзімді қызмет етуіне және өндіріс шығындарының жалпы деңгейіне тікелей әсер етеді. Сондықтан бекіту материалдарының физико-механикалық, технологиялық және эксплуатациялық қасиеттерін жақсарту қажет. Осындай материалдар ішінде торкретбетон ең тиімді әрі кеңінен қолданылатын практикалық шешімдердің бірі болып саналады, себебі ол технологиялық икемділігімен, күрделі беттерге қолдану мүмкіндігімен, жыныс бетімен тығыз жанасуымен және механикаландырылған қолдануға жарамдылығымен ерекшеленеді. Сонымен қатар, торкретбетонның өнеркәсіптік тиімділігі

оның құрамындағы компоненттердің қатынасына, қоспаның реологиялық қасиеттеріне, қолдану технологиясына және нақты тау-кен жағдайларына бейімделу дәрежесіне байланысты [2].

Жер асты қазбасының орнықтылығын бағалау және бекітпе параметрлерін негіздеу мәселелері тау-кен ғылымында ұзақ уақыт бойы зерттеліліп келе жатыр. Осы бағыттағы ірі зерттеулерде тау жыныстары массивінің физика-механикалық қасиеттері мен тау қысымының қалыптасу заңдылықтары және қазбалардың орнықтылығын бағалау әдістерін қарастырған. Соңыра осы ғылыми бағыт жыныс массивінің сапасын сандық тұрғыдан сипаттайтын әдістерімен толықтырылып, жерасты қазбалары үшін бекітпе параметрлерін таңдаудың есептік және тәжірибелік негіздері одан әрі дамытылады [3]. Осының нәтижесінде геомеханикалық жайттарды ескеру бекітпе жүйелерін жобалаудың міндетті элементіне айналды, ал заманауи зерттеулер тау-кен жағдайлары күрделенген сайын бекітпе материалдарына қойылатын талаптардың да күшейетінін білдіреді [4].

Сондай-ақ, соңғы жылдары жерасты қазбаларын бекітуге арналған ұтымды конструкциялық және материалдық шешімдерді іздеуге бағытталған қолданбалы зерттеулер белсенді жүргізіліп жатыр. Осы еңбектер негізінде бекітпе түрін геомеханикалық жағдайлармен өзара байланыста қарастыру керектігі ұсынылған [5]. Сонымен қатар бетон және торкретбетон жүйелерінің құрамдық шешімдерін жетілдіруге арналған зерттеулерде олардың беріктік сипаттамаларын, технологиялық қасиеттерін және пайдалану тиімділігін арттыру мәселелері қамтылған. Осындай зерттеулердің нәтижелері торкретбетонның қасиеттері оның бастапқы құрамына ғана емес, сонымен қатар енгізілетін модификациялаушы компоненттердің сипатына да тәуелді екенін көрсетеді [6].

Сол санаттан алған кезде полимерлік және қоспалық модификаторларды қолдану ерекше көзге түседі, өйткені олар торкретбетонның құрылымын тығыздауға, адгезиялық қасиеттерін жақсартуға, жарықшаққа төзімділігін арттыруға және суға төзімділігін күшейтуге мүмкіндік тудырады [7]. Сондай-ақ синтетикалық латекстердің қасиеттері мен оларға қойылатын техникалық талаптар нормативтік құжаттарда белгіленген, алайда мұндай компоненттердің жерасты тау-кен қазбаларын бекіту жағдайындағы тиімділігі, әсіресе олардың мөлшерін ұтымды таңдау және кешенді бағалау мәселелері жеткілікті дәрежеде жүйеленбей отыр. Осындай жағдай полимерцементті модификацияланған торкретбетонның рационалды құрамын анықтауға бағытталған арнайы зерттеулердің қажет екенін айқындайды [8].

Осы бағыттағы ғылыми жарияланымдарды талдау жерасты қазбаларын бекіту, геомеханикалық жағдайларды бағалау және торкретбетон құрамдарын жетілдіру бағыттарында елеулі нәтижелер алынғанын байқатады [9].

Сондай-ақ, торкретбетонның құрылымдық ерекшеліктерін, механикалық қасиеттерін және жағу технологиясының тиімділігін бағалауға арналған еңбектер де жетеді. Осыған қарамастан, латекспен модификацияланған полимерцементті торкретбетонның үш компонентті құрамын жерасты тау-кен қазбаларын бекіту талаптарымен тікелей байланыстыра отырып, кешенді негіздеу мәселесі жеткілікті деңгейде шешілген жоқ [10].

Құрам тиімділігін сығылуға беріктік, адгезиялық қабілет, жарықшаққа төзімділік, су өткізбейтіндік, жағу кезіндегі материал шығыны және өндірістік-экономикалық тиімділік көрсеткіштерінің жиынтығы бойынша біртұтас бағалау қажеттілігі сақталған. Бұл ғылыми олқылық зерттеу тақырыбын таңдаудың негізін құрайды және оның теориялық әрі практикалық өзектілігі қарастырылады.

Осы себептен де зерттеудің мақсаты-жерасты тау-кен қазбаларын бекітуге арналған латекспен модификацияланған полимерцементті торкретбетонның рационалды үш компонентті құрамын ғылыми негіздеу. Осы мақсатқа жету үшін жерасты тау-кен қазбаларын бекітуге қойылатын геомеханикалық, технологиялық және пайдалану талаптарын талдау, торкретбетон құрамының негізгі компоненттерінің қасиеттерін зерттеу, әртүрлі құрамдардың физика-механикалық және

технологиялық көрсеткіштерін салыстырмалы бағалау, рационалды үш компонентті құрамды анықтау және әзірленген құрамның зертханалық әрі өндірістік жағдайдағы тиімділігін бағалау міндеттері саналады.

Зерттеудің объектісі-жер асты тау-кен қазбаларын бекіту жұмыстары. Зерттеу жұмысы - латекспен модификацияланған полимерцементті торкретбетонның үш компонентті құрамының қасиеттері және оны жерасты тау-кен қазбаларын бекітуде қолданудың тиімділігі болып табылады.

Бұл зерттеуде физика-химиялық талдау, салыстырмалы талдау, зертханалық эксперимент, беріктік және адгезиялық қасиеттерді сынау, өндірістік апробация және алынған нәтижелерді статистикалық өңдеу әдістері пайдаланылды. Осындай әдіс тұрғысынан жұмыс эксперименттік-аналитикалық тәсілге негізделеді, бұл құрам параметрлері мен материал қасиеттері арасындағы өзара байланысты анықтауға, сондай-ақ олардың өндірістік қолданылу тиімділігіне әсерін бағалауға мүмкіндік тудырады.

Зерттеудің гипотезасы торкретбетон құрамына латекспен модификацияланған полимерцементті компонентті ғылыми негізделген арақатынаста енгізу оның физика-механикалық және технологиялық қасиеттерін жақсартып, соның нәтижесінде жерасты тау-кен қазбаларын бекітудің сенімділігі мен тиімділігін арттырады деген тұжырымға негізделінеді.

Бұл зеерттеудің теориялық маңыздылығы латекспен модификацияланған полимерцементті торкретбетон жүйелерінің қасиеттерінің қалыптасу заңдылықтарын нақтылаумен анықталынған. Практикалық маңыздылығы дайындалған рационалдық құрамды қолдану арқылы жерасты қазбаларының орнықтылығын арттыруға, материал шығынын төмендетуге, бекітпе жұмыстарының еңбек және ресурс сыйымдылығын азайтуға, сондай-ақ өндірістік шығындарды қысқартуға мүмкіндік береді.

Материалдар мен тәсілдер. Зерттеуде жер асты тау-кен қазбаларын бекіту үшін латекспен модификацияланған полимерцементті торкретбетонның рационалды құрамын анықтауға бағытталған. Зерттеудің гипотезасына қарай синтетикалық латексті цемент массасына қатысты оңтайлы мөлшерде енгізу торкретбетонның беріктігін, адгезиялық және технологиялық қасиеттерін жақсы етеді.

Зерттеудің материалы ретінде көпкомпонентті торкретбетон қоспасы қарастырылды. Қоспаның құрамына портландцемент, құрылыс құмы, қиыршықтас, су және «Б» маркалы СКС-65 ГП синтетикалық латексті енгізді. Латекстің мөлшері цементтің массасына шаққанда 2%, 4%, 6%, 8% және 10% дейін өзгертіледі.

Бұл зерттеу бірнеше өзара байланыс кезінде жүргізілді. Бірінші торкретбетонға қойылатын технологиялық және пайдалану талаптары анықталды. Содан соң, латекс мөлшері әр түрлі құрамдарды дайындап, оның қасиеттері зертханалық жағдайда сұрыпталды. Осыдан соң, зертханалық нәтижелері өндірістік жағдайда тексерістен өтті. Қорытындыда алынған информациялар салыстырмалы және статистикалық өңдеуден өткізіліп, рационалды құрамды анықтады. Сондай-ақ зерттеу кезеңдерінің реттілігі 1-суретте көрсетілді.

Осы зертханалық жұмыстар барысында құрамдардың сығылуға беріктігі, адгезиясы, су өткізбейтіндігі және технологиялылығы анықталды. Алынған нәтижелерді салыстыру латекс мөлшерінің торкретбетон қасиеттеріне әсерін анықтауға мүмкіндік тудырды.

Жалпы, бұл өндірістік тексеру Қазақстан Республикасындағы «Жолбарысты» кенорнының №4 штольнясында жүргізілінді. Қазба жату тереңдігі 230 м. Геологиялы орта гранодиориттер мен ороговикті құмтастан тұрады. Таужыныстарының сығылуға беріктігі 82–128 МПа, көлемдік тығыздығы 2,7 т/м³. Бүрікпебетон қоспасын жағу үшін БМ-60 торкрет-машинасы, ал үлгілерді алу үшін УАД-3 қондырғысы қолданылды. Бүрікпебетон қабаты орнатылғаннан кейін керндер 28 күнде, қазбаның бойымен әрбір 5 м сайын алынып отырды. Үлгілер өлшемі 100×100 мм. Тәжірибе жүргізу кезінде қазбадағы ауаның температурасы +16…+20 °С, ал салыстырмалы ылғалдылығы 60–70% аралығында болды.



1-сурет. Латекс модификацияланған полимерцементті торкретбетонның рационалды құрамын негіздеу бойынша зерттеу кезеңдерінің реттілігі

Зертханалық және өндірістік нәтижелерді салыстыру керннің үлгілері мен зертханалық үлгілердің беріктік көрсеткіштерінің өзара жақын екенін айқындады. Ол зертханалық модельдеудің өндірістік жағдайға сәйкес екенін көрсетеді. Жұмыс нәтижесі жерасты тау-кен қазбаларын бекіту үшін торкретбетонның рационалды құрамын анықтады.

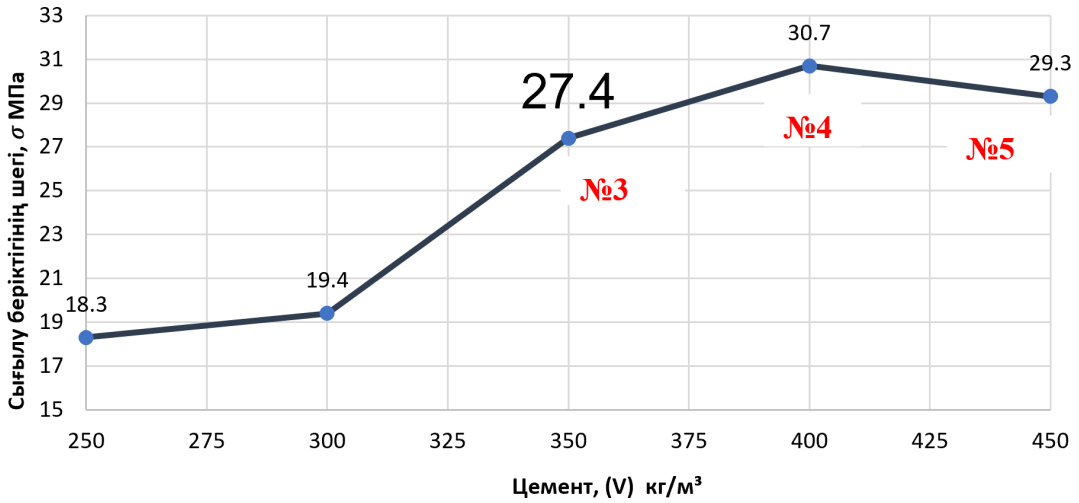
Нәтижелер және талқылау. Үшкомпонентті торкретбетон құрамдарын жетілдіру мақсатында цементтің массасына шаққанда 2-10% аралығында «Б» маркалы СКС-65 ГП синтетикалық латексі енгізілген. Латекс қоспасының енгізілуі материалдың сығылуға беріктігін, адгезиялық қасиеттерін, су өткізбейтіндігін және технологиялық орнықтылығын арттыру құралы ретінде қарастырылды. Зерттеулер цемент шығыны 400 кг/м³ және су-цемент қатынасы 0,48 болған жағдайда жүргізілді, өйткені осы параметрлер үш компонентті жүйе үшін беріктік пен материалдық шығынның ұтымды арақатынасын қамтамасыз етті.

Латекстің мөлшері үшкомпонентті торкретбетонның сығылуға беріктігіне әсері 1-кестеде келтірілді.1-ші кестедегі деректерге сай 28 тәуліктегі сығылуға беріктігі 2% латекс кезінде 32,7 МПа, 4% кезде 44,6 МПа, 6% кезде 44,8 МПа, 8% кезде 44,9 МПа және 10% кезінде 45,1 МПа болады.

1-кесте. Үшкомпонентті полимерцементті латексті торкретбетонның беріктік сипаттамасы

Сынақ нөмірі	Торкретбетон құрамдары	Су-цемент қатынасы	Цемент массасындағы латекс қоспасы-ның мөлшері,%	1 м³ бүрікпебетон қоспасына жұмсалған цемент мөлшері, кг	Қиыршық тасының салыстырмалы мөлшері,%	Беріктік шегі, МПа, (тәуліктер)			
						1	3	7	28
1	1:1,4:1,5	0,48	2	400	34	4,2	8,4	24,1	32,7
2	1:1,4:1,5	0,48	4	400	33,9	5,1	10,9	31,4	44,6
3	1:1,4:1,5	0,48	6	400	33,7	5,3	11,1	31,6	44,8
4	1:1,4:1,5	0,48	8	400	33,6	5,5	11,3	31,7	44,9
5	1:1,4:1,5	0,48	10	400	33,4	5,6	11,4	31,8	45,1

Беріктік көрсеткіштерінің өзгеру динамикасы 2-суретте көрсетілген. 2-суреттен латекс мөлшерін 2%-дан 4%-ға дейін арттыру кезінде беріктіктің ең қарқынды өсімі байқалатыны көрінеді. Ал латекс мөлшерін 4%-дан жоғары арттырғанда көрсеткіштердің тұрақтануы орын алады. Мысалға, 4% және 10% латекс енгізілген құрамдарды салыстырған кезде беріктік өсімі тек 1,12% құрады. Бұл латекстің 4%-ға дейінгі дозасы цементтік матрицаның құрылымын тиімді жақсартатынын, ал одан әрі арттыру айтарлықтай қосымша әсер бермейтінін көрсетеді.



2-сурет. Үшкомпонентті торкретбетонның беріктіктің цемент мөлшеріне тәуелділігі

Анықталған мәндер латексті модификациялау үш омпонентті торкретбетонның физика-механикалық қасиеттерін жақсартатынын көрсетеді. Бірақ та, беріктіктің артуы латекс мөлшеріне шексіз тәуелді болмайды. Сол себептен де, рационалды дозаны анықтау кезінде, механикалық көрсеткіштермен қатар экономикалық тиімділік те ескеріледі.

Үш компонентті полимерцементті латексті бүрікпебетон құрамдарының салыстырмалы экономикалық көрсеткіштері 2-кестеде берілген.2-кестенің мәліметтері бойынша латекс мөлшері артқан сайын 1 м³ қоспаның құны да өседі: 2% латекс кезінде 57,8 USD/м³, 4% кезінде 65,2 USD/м³, 6% кезінде 75,1 USD/м³, 8% кезінде 81,7 USD/м³ және 10% кезінде 89,2 USD/м³.

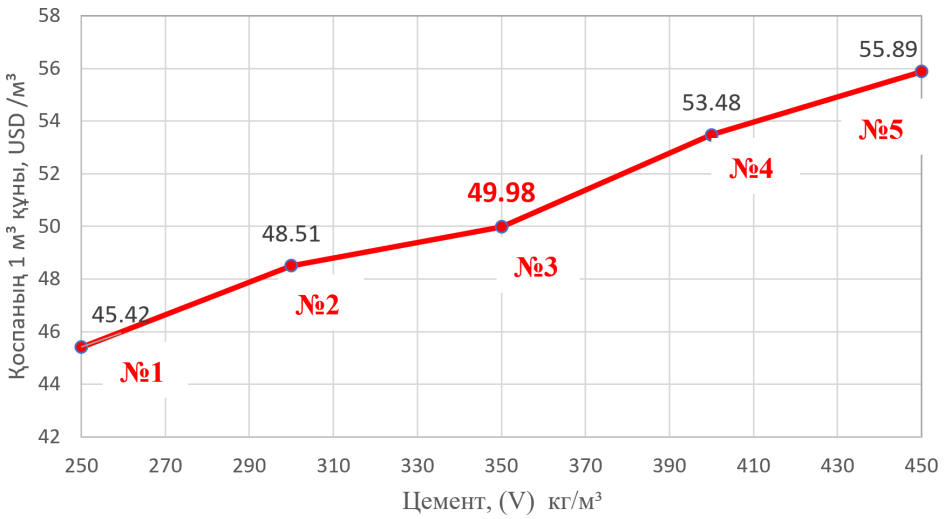
Бағаның өзгеру динамикасы 3-ші суретте

көрсетілді.3-ші суреттен латекс үлесінің артуы - қоспаның өзіндік құнының сызықты түрде өсетіндігі байқалды. Сонымен қатар, беріктік өсімі мен құн өсімі өзара пропорционалды емес. Яғни, 4%-дан кейін латекс мөлшерін көбейту беріктікке мардымсыз әсер етеді, бірақ қоспа құнының едәуір өсуіне әкеледі.

2-кесте. Үш компонентті полимерцементті латексті бүрікпебетонның салыстырмалы экономикалық көрсеткіштері

№	Бетон қоспасының құрамы	Цемент, кг	Құм, кг	Қиыршық тас, кг	Латекс, л	Су, л	Сығуға беріктік шегі, МПа	Құны, тг (USD) ($1м^3$ бетон қоспасы)
1	1:1,4:1,5:0,48:0,02	400	512	479,3	4,5	109	32,7	57,8
2	1:1,4:1,5:0,48:0,04	400	509	476	9	108	44,6	65,2
3	1:1,4:1,5:0,48:0,06	400	508	475	13,5	108,1	44,8	75,1
4	1:1,4:1,5:0,48:0,08	400	506,1	474	17,9	107,6	44,9	81,7
5	1:1,4:1,5:0,48:0,10	400	499	469	22,5	105,6	45,1	89,2

Ескерту: *Материалдардың бағалары: Цемент М400 = 35000 тг/т (70 USD/ton); цементтің үйінді тығыздығы – 1500 кг/м³; Құм-5000 тг/т (10 USD/ton); құмның тығыздығы – 1600 кг/м³; Қиыршық тас – 6000 тг/т (12 USD/ton), қиыршық тастың тығыздығы-1400 кг/м³; Латекс эмульсиясы-800 тг/л (1,6 USD/liter); латекс эмульсиясының орташа тығыздығы-1000 кг/м³; Су-45 тг/м³ (0,10 USD/м³); судың тығыздығы-1000 кг/м³. Материалдар бағасы 2025 жыл 10-шы ақпан жағдайыда есептелді.*

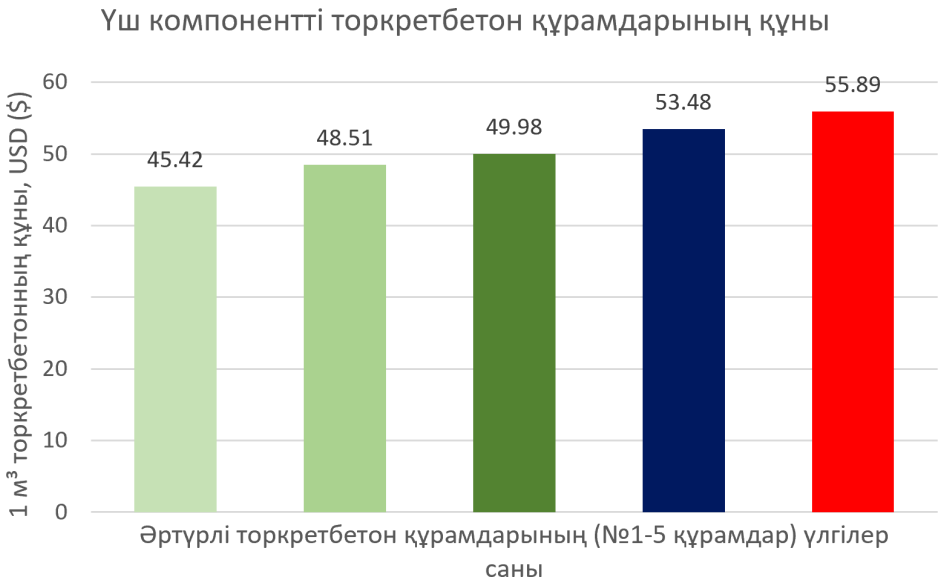


3-сурет. Үш компонентті торкретбетонның 1 м³ құнының қоспа құрамындағы цемент мөлшеріне тәуелділік графигі

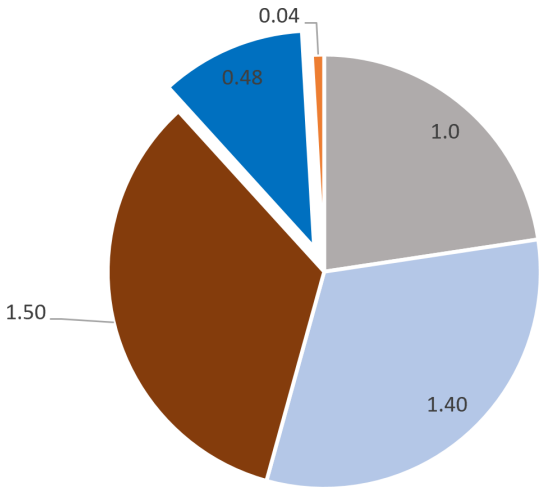
Беріктік пен құн көрсеткіштерінің арақатынасын бағалау нәтижелері 4-суретте келтірілген.4-ші суретке сай, ең үлкен тиімділік цемент массасының 4% - ы шамасында латекс енгізілген құрамда көрінеді. Осы жағдайда беріктік құн көрсеткіші ең үлкен мәнге көтеріледі. Сон-

дықтан, үш компонентті полимерцементті латексті бүрікпебетон үшін рационалды құрам ретінде Цемент:Құм:Қиыршық тас:Су:Латекс = 1:1,4:1,5:0,48:0,04 қатынасы қабылданды.

Рационалды құрамның сызбалық көрінісі 5-ші суретте көрсетілген.5-ші суретте көрсетілген құрам зертханалық беріктік нәтижелері мен экономикалық бағалаудың жиынтық талдауы негізінде анықталынды.



4-сурет. Үш компонентті бүрікпебетон құрамдарын экономикалық тиімділік көрсеткіші бойынша салыстыру гистограммасы

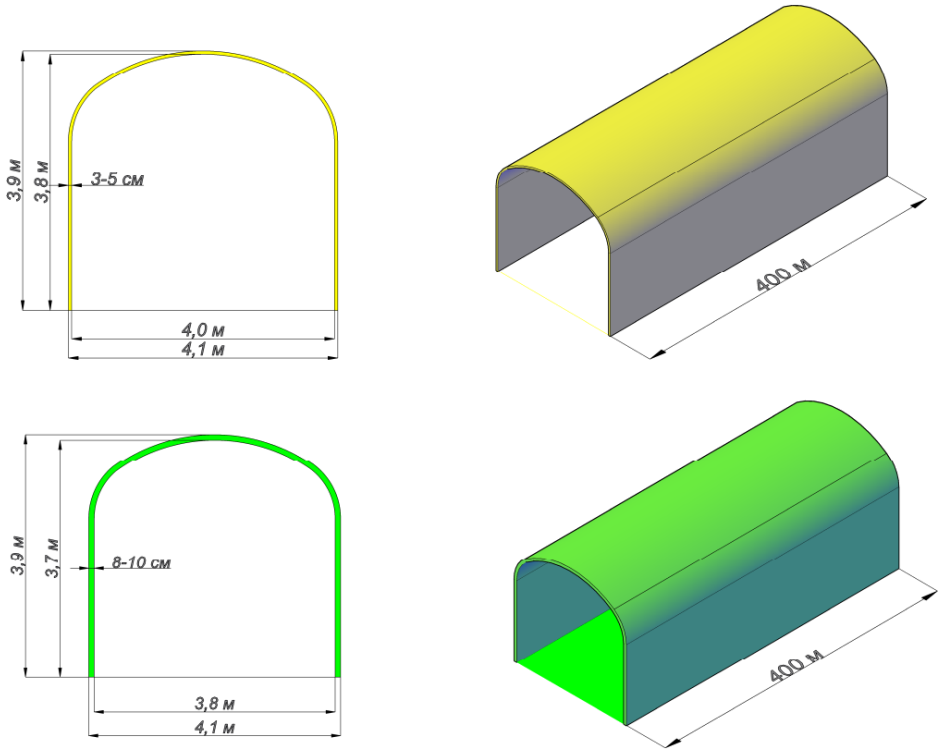


5-сурет. Жүргізілген зерттеулердің нәтижесі бойынша анықталған үш компонентті полимерцементті латексті бүрікпебетонның рационалды құрамы

Анықталған жаңа құрамның өндірістік тиімділігі «Жолбарысты» кенорнының №4 штольнясында сыналды. Осы құрамдағы торкретбетонды пайдалану сұлбасы 6-шы суретте берілген, ал салыстырмалы техника-экономикалық көрсеткіштері 3-ші кестеде көрсетілген. Жүргізілген зерттеулер жаңа құрамдағы, беріктігі жоғары полимерцементті торкретбетонды қолдану қаптама қалыңдығын 4-5 см-ге дейін азайта отырып, бекітпенің талап етілетін беріктігі

мен сенімділігін толық қамтамасыз ететінін көрсетті. Дәстүрлі торкретбетон мен жаңа полимерцементті құрамды қолданудың салыстырмалы технико-экономикалық тиімділігін талдау келесі тұжырымдарды анықтауға ықпал етті:

Берілген 3-ші кестенің деректеріне сай жаңа құрам бекітпе қабатының қалыңдығын 8 см-ден 4 см-ге (неге негізделіп қабылданды) дейін азайтуға мүмкіндік береді. Шыққан нәтижесі бойынша қазбаның жарықтағы көлденең қимасының ауданы 13,8 м²-ден 14,4 м²-ге дейін өседі, ал торкретбетон қоспасының жалпы шығыны 552 м³-тен 276 м³-ке дейін азаяды. Бұл дегеніміз, материалдар шығынының 50%-ға дейін төмендегенін аңғартады.



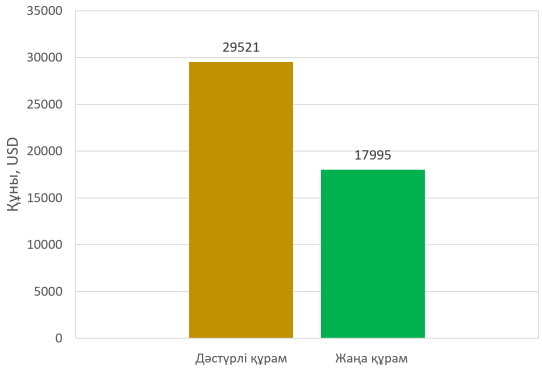
6-сурет. Дәстүрлі құрам мен жаңа құрамдағы полимерцементті латексті бүрікпебетон бекіту сұлбасы

3-кесте. Үш компонентті полимерцементті латексті бүрікпебетонның салыстырмалы экономикалық көрсеткіштері

№	**Көрсеткіштер**	**Тау-кен қазбасының бекітпесін дәстүрлі құрамдағы бүрікпебетонмен тұрғызу кезінде**	**Тау-кен қазбасының бекітпесін жаңа полимерцементті құрамдағы бүрікпебетонмен тұрғызу кезінде**
1	Қазбаның өту кезіндегі көлденең қимасының ауданы (алдын ала), (жобалық қима), м²	15	15
2	Қазбаның ұзындығы, м	400	400

3	Бүрікпебетон қабатының қалыңдығы (бекітпенің орташа қалыңдығы), см	8	4
4	Қазбаның жарықтағы (бекітілгеннен кейінгі) көлденең қимасының ауданы, м²	13,8	14,4
5	15% шығынды (материалдың қайтуын) ескере отырып бүрікпебетон қоспасының шығыны, м³	552	276
6	Бүрікпебетон қоспасының 1 м³ құны, USD ($)	53,48	65,2
7	400 м тау-кен қазбасын бекітуге жалпы шығын, USD ($)	29 521	17 995

Дәстүрлі және жаңа құрамдардың салыстырмалы техника-экономикалық талдау нәтижелері 7-ші суретте көрсетілген.7-ші суретке байланысты жаңа құрамның 1 м³ құны дәстүрлі құрамнан қарағанда жоғары болғанымен, жалпы шығынның біршама азаятынын байқаймыз. Ол қаптама қалыңдығының төмендеуі, материал шығынының қысқаруы және қолдану технологиясының тиімділігімен байланысты.400 м ұзындықтағы тау-кен қазбасын бекіту үшін жұмсалатын жалпы шығын дәстүрлі құрам кезінде 29 521 USD болса, жаңа полимерцементті латексті құрамды қолданған кезде 17 995 USD болды. Жалпылама үнемдеу 11 526 USD немесе шамамен 39% құрайды.



7-сурет. Бекіту құны бойынша салыстырмалы техника-экономикалық талдау нәтижелері

Осылайша, 1-кесте мен 1-сурет латекс мөлшерінің үш компонентті бүрікпебетонның берік-тік көрсеткіштеріне әсерін сипаттайды, 2-кесте, 2-сурет және 3-сурет рационалды дозаны экономикалық тұрғыдан негіздейді, ал 3-кесте, 5-сурет және 6-сурет жаңа құрамның өндірістік және техника-экономикалық артықшылықтарын дәлелдейді. Жиынтық талдау нәтижесінде цемент массасының 4% мөлшеріндегі латекс үш компонентті полимерцементті бүрікпебетон

үшін рационалды доза ретінде қабылданды. Бұл құрам жерасты тау-кен қазбаларын бекіту кезінде беріктік, адгезия, материал шығыны және құн көрсеткіштерінің ұтымды үйлесімін қамтамасыз етеді.

Қорытынды. Жер асты тау-кен қазбаларын бекіту үшін арнайы латекспен модификацияланған полимерцементті торкретбетонның ұтымды үш компонентті құрамын негіздеу үшін зертханалық сынақтарды, салыстырмалы талдауды, экономикалық бағалауды және өндірістік тексеруді қамтитын кешенді тәсіл пайдаланылды. Жасалынған бағалау қорытындылары СКС-65 ГП синтетикалық латексін енгізу материалдың беріктік мен технологиялық көрсеткіштерін жақсартуға мүмкіндік беретінін көрсетеді.

Латекс шамасының өзгеруі қоспаның көрсеткіштеріне тікелей әсер етеді. Анықтап кетсек, цемент массасына шаққанда латекс мөлшерін 2%-дан 4%-ға дейін арттыру 28 тәуліктегі сығылуға беріктіктің 32,7 МПа-дан 44,6 МПа-ға дейін өсуін қамтамасыз етеді. Сондай-ақ, латекс мөлшерін 6-10% аралығында одан әрі өсіру беріктіктің тек мардымсыз өзгеруімен сипатталды. Осыған орай беріктік және құн көрсеткіштерін бірлесіп талдау цемент массасының 4% мөлшеріндегі латекстің осы жүйе үшін ең тиімді мөлшер екенін анықтауға негіз болды.

Шыққан нәтижелердің негізінде жерасты тау-кен қазбаларын бекіту үшін рационалды құрам Цемент:Құм:Қиыршық тас:Су:Латекс = 1:1,4:1,5:0,48:0,04 қатынасымен ұсынып отырмыз. Ұсынылған құрам механикалық тиімділік пен экономикалық орындылықтың оңтайлы үйлесімін қамтамасыз етеді. Бұны өндірістік апробация нәтижелері де растап отыр: зертханалық үлгілер арасындағы айырмашылық 0,4-0,9% шамасында болды.

Анықталған ұтымды құрамды өндірістік жағдайда қолдану - практикалық тұрғыдан да тиімді нәтижені берді. Анықтап айтқанда, бекітпе қабатының қалыңдығын 8 см-ден 4 см-ге дейін азайтуға, бүрікпебетон шығынын 552 м³-тен 276 м³-ке дейін қысқартуға және 400 м қазбаны бекітуге жұмсалатын жалпы шығынды шамамен 39%-ға төмендетуге мүмкіндік тудырады. Осы көрсеткіштер ұсынылып отырған материалдың тек зертханалық жағдайда ғана емес, нақты өндірістік жағдайда да тиімді екенін көрсетеді.

Қорыта келгенде, латекспен модификацияланған үш компонентті полимерцементті торкретбетон жерасты тау-кен қазбаларын бекітуге арналған техникалық және экономикалық жағынан негізделген шешім ретінде қарастырылуы мүмкін. Шыққан нәтижелер торкретбетон құрамдарын бағалау кезінде беріктікпен бірге экономикалық тиімділікті де ескеру қажеттігін көрсетті. Алдағы зерттеулерді материалдың ұзақ мерзімді беріктігін, агрессивті ортадағы тұрақтылығын және әртүрлі тау-геологиялық жағдайларда қолдану ерекшеліктерін нақтылау үшін бағыттау орынды болып саналады.

Әдебиеттер

1. Almenov T. M., Zhanakova R. K., Sarybayev M., Shabaz D. M. A Novel Approach to Selecting Rational Supports for Underground Mining Workings.//Civil Engineering Journal.- 2025.-Vol.11(3). -P.1217-1241. DOI 10.28991/CEJ-2025-011-03-022.

2. Begalinov A., Almenov T., Zhanakova R., Bektur B. Analysis of the stress deformed state of rocks around the haulage roadway of the Beskempir field (Kazakhstan). //Mining of Mineral Deposits. -2020.-Vol.14(3):28-36. DOI 10.33271/mining14.03.028.

3. Istekova S., Makarov A., Tolybaeva D., Sirazhev A., Togizov K. Determining the Boundaries of Overlying Strata Collapse Above Mined-Out Panels of Zhomart Mine Using Seismic Data. // Geosciences. -2024.-Vol.14(11): 310. DOI 10.3390/geosciences14110310.

4. Almenov T., Zhanakova R., Sarybayev M., Seitkazynova B., Shabaz D. M., Nurperzent B. Innovative Compositions of Shotcrete Mixtures for Reinforcement of Underground Mine Excavations. //HighTech and Innovation Journal. -2025.-Vol.6(4). DOI 10.28991/HIJ-2025-06-04-07.

5. Wang W., Zhang S., Wang Y., Yuan J., Niu D. Pore structure characteristics of admixture shotcrete and its quantitative relationship with mechanical properties in high geothermal environment. //Journal of Materials Research and Technology.2024.-Vol.28.-P.643-654. DOI 10.1016/j.jmrt.2023.10.190.

6. Wang X., Islam M. M., Zhang Q. Influence of materials and nozzle geometry on spray and placement behavior of wet-mix shotcrete. //Case Studies in Construction Materials. - 2024.-Vol.20(4): e02852. DOI 10.1016/j.cscm.2024.e02852.

7. Rysbekov K. B., Kyrgizbayeva D. M., Miletenko N. A., Kuandykov T. A. Integrated monitoring of the area of Zhilandy deposits. //Eurasian Mining. -2024.-No1.-P.3-6. DOI 10.17580/em.2024.01.01.

8. Межгосударственный стандарт ГОСТ 10564-75 «Латекс синтетический СКС-65 ГП. Технические условия». https://meganorm.ru/Data2/1/4294840/4294840202.pdf.

9. Imashev A., Suimbayeva A., Zhunusbekova G., Adoko C., Issakov B. Assessing stability of mine workings driven in stratified rock mass. //Mining of Mineral Deposits. -2024.-Vol.18(1). -P.82-88. DOI 10.33271/mining18.01.082.

10. Konovalova N., Pankov P., Bespolitov D., Petukhov V., et.all. Road soil concrete based on stone grinder waste and wood waste modified with environmentally safe stabilizing additive.//Case Studies in Construction Materials. -2023.-Vol.19: e02318. DOI 10.1016/j.cscm.2023.e02318.

References

1. Almenov T. M., Zhanakova R. K., Sarybayev M., Shabaz D. M. A Novel Approach to Selecting Rational Supports for Underground Mining Workings.//Civil Engineering Journal.- 2025.-Vol.11(3). -P.1217-1241. DOI 10.28991/CEJ-2025-011-03-022.

2. Begalinov A., Almenov T., Zhanakova R., Bektur B. Analysis of the stress deformed state of rocks around the haulage roadway of the Beskempir field (Kazakhstan). //Mining of Mineral Deposits. -2020.-Vol.14(3):28-36. DOI 10.33271/mining14.03.028.

3. Istekova S., Makarov A., Tolybaeva D., Sirazhev A., Togizov K. Determining the Boundaries of Overlying Strata Collapse Above Mined-Out Panels of Zhomart Mine Using Seismic Data. // Geosciences. -2024.-Vol.14(11): 310. DOI 10.3390/geosciences14110310.

4. Almenov T., Zhanakova R., Sarybayev M., Seitkazynova B., Shabaz D. M., Nurperzent B. Innovative Compositions of Shotcrete Mixtures for Reinforcement of Underground Mine Excavations. //HighTech and Innovation Journal. -2025.-Vol.6(4). DOI 10.28991/HIJ-2025-06-04-07.

5. Wang W., Zhang S., Wang Y., Yuan J., Niu D. Pore structure characteristics of admixture shotcrete and its quantitative relationship with mechanical properties in high geothermal environment. //Journal of Materials Research and Technology.2024.-Vol.28.-P.643-654. DOI 10.1016/j.jmrt.2023.10.190.

6. Wang X., Islam M. M., Zhang Q. Influence of materials and nozzle geometry on spray and placement behavior of wet-mix shotcrete. //Case Studies in Construction Materials. - 2024.-Vol.20(4): e02852. DOI 10.1016/j.cscm.2024.e02852.

7. Rysbekov K. B., Kyrgizbayeva D. M., Miletenko N. A., Kuandykov T. A. Integrated monitoring of the area of Zhilandy deposits. //Eurasian Mining. -2024.-No1.-P.3-6. DOI 10.17580/em.2024.01.01.

8. Межгосударственный стандарт ГОСТ 10564-75 «Латекс синтетический СКС-65 ГП. Технические условия». https://meganorm.ru/Data2/1/4294840/4294840202.pdf.

9. Imashev A., Suimbayeva A., Zhunusbekova G., Adoko C., Issakov B. Assessing stability of mine workings driven in stratified rock mass. //Mining of Mineral Deposits. -2024.-Vol.18(1). -P.82-88. DOI 10.33271/mining18.01.082.

10. Konovalova N., Pankov P., Bespolitov D., Petukhov V., et.all. Road soil concrete based on stone grinder waste and wood waste modified with environmentally safe stabilizing additive.//Case Studies in Construction Materials. -2023.-Vol.19: e02318. DOI 10.1016/j.cscm.2023.e02318.

Авторлар туралы мәлімет

Алменов Т.М.- техника ғылымдарының кандидаты, «Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КЕАҚ (Satbayev University), Алматы, Қазақстан, e-mail: T.Almenov@satbayev.university;

Жанакова Р.К.- PhD, «Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КЕАҚ (Satbayev University)», Алматы, Қазақстан, e-mail: r.zhanakova@satbayev.university;

Сейтқазынова Б.А.- 2-курс докторанты, «Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КЕАҚ (Satbayev University), Алматы, Қазақстан, e-mail: seitkazynovva@gmail.com;

Шабаз Д.-М.М. - 1-курс докторанты, «Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КЕАҚ (Satbayev University), Алматы, Қазақстан, e-mail: shabazdinmuhammed@gmail.com.

Information about the authors

Almenov T. - candidate of Technical Sciences, K.I.Satpayev Kazakh National Research Technical University named after (Satbaev University), Almaty, Kazakhstan, e-mail: T.Almenov@satbayev.university;

Zhanakova R. - PhD, K.I.Satpayev Kazakh National Research Technical University named after (Satbaev University), Almaty, Kazakhstan, e-mail: r.zhanakova@satbayev.university;

Seitkazynova B. - first-year PhD student, K.I.Satpayev Kazakh National Research Technical University (Satbayev University), Almaty, Kazakhstan; e-mail: seitkazynovva@gmail.com

Shabaz D-M. - second-year Master’s student,Kazakh National Research Technical University named after K.I.Satpayev (Satbaev University), Almaty, Kazakhstan, e-mail: shabazdinmuhammed@gmail.com.

МРНТИ 52.49.19; 50.47.31 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1413**

КОНТРОЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РУДНОГО МАТЕРИАЛА В БУНКЕРАХ СРЕДСТВАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

[1]К. Акишев✉, [2]А. Подвалов, [1]А. Зейнуллин✉, [1]Е. Айбульдинов, [1]М. Оспанова, [2]А. Нурмаганбетов, [2]М. Чагай, [2]М. Айтиева, [2]С. Хусаинова, [3]Н. Токтар

[1]Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
[2]ТОО AG Tech, Астана, Казахстан,
[3]Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан

✉ *Корреспондент-автор: akmail04cx@mail.ru, karim_57@mail.ru*

Необходимость совершенствования методов контроля процессов загрузки и истечения кусковой руды в бункерных узлах горно-обогатительных предприятий, является важной задачей, так как, неравномерное распределение материала, сегрегация, образование заторов оказывают существенное влияние на производительность оборудования, эффективность последующих технологических переделов.

В работе разработан и опрабирован метод компьютерного зрения для мониторинга состояния рудного материала в бункере на основе анализа видеоданных, получаемых с камер, установленных над бункером.

Сущность метода заключается в сегментации изображений, извлечение геометрических, текстурных признаков поверхности насыпи, формирование коэффициента неравномерности распределения *Kh*, показателей текстурного анализа на основе матриц совместной встречаемости уровней серого (GLCM).

Научная новизна исследования заключается в обосновании использования визуальных признаков в качестве виртуальных измерительных параметров, с возможностью интеграции в контур автоматизированных систем управления технологическими процессами.

Показано, что увеличение коэффициента неравномерности распределени *Kh* коррелирует со снижением производительности питателей на 4–5 %, уменьшением извлечения полезного компонента на последующих переделах на 2–3 %.

Подтверждена возможность раннего выявления зон сегрегации и заторов.

Практическая значимость исследования заключается в повышении устойчивости технологического процесса за счёт бесконтактного мониторинга загрузки бункеров.

Перспективы дальнейших исследований связаны с развитием предиктивных моделей, адаптацией метода к различным условиям эксплуатации.

Ключевые слова: компьютерное зрение, бункерный узел, кусковая руда, сегрегация, коэффициент неравномерности, видеомониторинг, заторы.

КОМПЬЮТЕРЛІК КӨРУ ҚҰРАЛДАРЫМЕН БУНКЕРЛЕРДЕ КЕН МАТЕРИАЛЫНЫҢ ТАРАЛУЫН БАҚЫЛАУ

[1]К. Акишев✉, [2]А. Подвалов, [2]А. Зейнуллин✉, [1]Е. Айбульдинов, [1]М. Оспанова, [2]А. Нұрмағанбетов, [2]М. Чагай, [2]М. Айтиева, [2]С. Хусаинова, [3]Н. Токтар

[1]Қ.Құлажанова ат. Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[2]AG Tech ЖШС, Астана, Қазақстан,
[3]Торайгыров университеті, Павлодар, Қазақстан,
e-mail: akmail04cx@mail.ru, karim_57@mail.ru

Тау-кен байыту кәсіпорындарының бункерлік тораптарында кесек кендердің тиелуі мен бітелу процестерін бақылау әдістерін жетілдіру қажеттілігі маңызды міндет болып табылады, өйткені

материалдың біркелкі бөлінбеуі, сегрегация, кептелістердің пайда болуы жабдықтың өнімділігіне, кейінгі технологиялық қайта бөлудің тиімділігіне айтарлықтай әсер етеді.

Жұмыста бункердің үстінде орнатылған камералардан алынған бейне деректерді талдау негізінде бункердегі кен материалының жай-күйін бақылау үшін компьютерлік көру әдісі әзірленді және пысықталды.

Әдістің мәні-кескіндерді сегменттеу, үйінді бетінің геометриялық, текстуралық ерекшеліктерін алу, Kh біркелкі емес таралу коэффициентін қалыптастыру, сұр деңгейлердің бірлескен пайда болу матрицаларына (GLCM) негізделген текстуралық талдау көрсеткіштері.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы технологиялық процестерді басқарудың автоматтандырылған жүйелерінің контурына интеграциялану мүмкіндігімен визуалды белгілерді виртуалды өлшеу параметрлері ретінде пайдалануды негіздеу болып табылады.

Kh үлестірімінің біркелкі емес коэффициентінің артуы қоректендіргіштердің өнімділігінің 4-5% төмендеуімен, кейінгі қайта бөлулерде пайдалы компонентті алудың 2-3% төмендеуімен байланысты екендігі көрсетілген.

Сегрегация аймақтары мен кептелістерді ерте анықтау мүмкіндігі расталды.

Зерттеудің практикалық маңыздылығы бункерлердің жүктемесін контактісіз бақылау арқылы технологиялық процестің тұрақтылығын арттыру болып табылады.

Әрі қарайғы зерттеулердің болашағы болжамды модельдердің дамуымен, әдістің әртүрлі жұмыс жағдайларына бейімделуімен байланысты.

Түйін сөздер: компьютерлік көру, бункерлік түйін, кесек кен, сегрегация, біркелкі емес коэффициент, бейне бақылау, кептеліс.

COMPUTER VISION CONTROL OF ORE MATERIAL DISTRIBUTION IN BUNKERS

[1]K. Akishev✉, [2]A. Podvalov, [1]A. Zeynullin✉, [1]Y. Aibuldinov, [1]M. Ospanova, [2]A. Nurmaganbetov, [2]M. Chagay, [2]M. Aitiyeva, [2]S. Khussainova [3]N. Toktar

[1]K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
[2]AG Tech LLP, Astana, Kazakhstan,
[3]Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan,
e-mail: akmail04cx@mail.ru, karim_57@mail.ru

The need to improve methods of controlling the processes of loading and outflow of lump ore in the bunker nodes of mining and processing enterprises is an important task, since the uneven distribution of material, segregation, and congestion formation have a significant impact on equipment productivity and the effectiveness of subsequent technological transformations.

The paper develops and implements a computer vision method for monitoring the condition of ore material in a bunker based on the analysis of video data obtained from cameras installed above the bunker.

The essence of the method consists in image segmentation, extraction of geometric and textural features of the embankment surface, formation of the coefficient of uneven distribution of Kh, indicators of textural analysis based on the matrices of the common occurrence of gray levels (GLCM).

The scientific novelty of the study is to substantiate the use of visual features as virtual measuring parameters, with the possibility of integration into the contour of automated process control systems.

It is shown that an increase in the coefficient of uneven distribution of Kh correlates with a decrease in the productivity of feeders by 4-5%, a decrease in the extraction of a useful component in subsequent alterations by 2-3%.

The possibility of early detection of segregation zones and congestion has been confirmed.

The practical significance of the study is to increase the stability of the technological process through contactless monitoring of hopper loading.

The prospects for further research are related to the development of predictive models and the adaptation of the method to various operating conditions.

Keywords: computer vision, bunker node, lump ore, segregation, coefficient of unevenness, video monitoring, congestion

Введение. Задачи контроля распределения рудного материала в приёмных и аккумулирующих бункерах на практике считается одной из критически важных в технологической цепочке горно-обогатительных предприятий.

Это прежде всего связано с неравномерностью загрузки, сегрегацией по крупности, образованием «мертвых зон», локальных сводов, которые напрямую влияют на стабильность питания дробильных, сортировочных, обогатительных переделов, влияя на производительность, энергозатраты, эффективность последующих процессов.

В настоящее время применяемые методы контроля (уровнемеры, весоизмерительные устройства, дискретные датчики) не только не обеспечивают пространственного анализа распределения материала, но и не позволяют выявлять ранние стадии неравномерности, сегрегации.

Бурный рост информационных технологий (*методы компьютерного зрения (CV), глубокого обучения (CNN, Transformer-архитектуры)* открыли возможности для бесконтактного, непрерывного, пространственного мониторинга рудных потоков, а также бункерных систем. Устройства (камеры видимого спектра, стереозрение, тепловизионные системы) позволяют достаточно эффективно оценивать профиль насыпи, динамику заполнения, гранулометрическую неоднородность, признаки расслоения материала.

Все это в комплексе с промышленной аналитикой формируют основу для предиктивного управления загрузкой, адаптивным регулированием технологических режимов.

Актуальность темы исследования заключается в интеграции компьютерного зрения с существующими системами контроля (рентгенорадиометрическими, радиометрическими методами), позволяющими обеспечить переход от местного (локального) контроля к цифровому представлению состояния бункера, позволяя повысить эффективность последующих операций предварительного обогащения и сортировки, что для предприятий Казахстана, работающих с контрастными и неоднородными рудами, является технологически и экономически обоснованным.

Публикации связанные с тематикой исследования ведутся в странах с развитой структурой металлургии и обогащения, что позволяет выполнять эксперименты как на в лабораториях, так и на площадках промышленных предприятий.

В работе [1] предложена система, с применением edge-вычислений, в которой высокоскоростная камера, размещенная над конвейером, снимает изображения движущейся руды, анализирует параметры крупности. Использованы методы предобработки изображений, сегментации объектов, расчёта размеров частиц-это позволяет снизить задержку, а также вычислительную нагрузку на центральный сервер в режиме реального времени. Экспериментальные результаты, показывают высокую точность определения гранул метрии при различных скоростях движения ленты.

Публикация [2] показывает интеграцию современных CV-алгоритмов с устройствами для оценки PSD на конвейерах и накопителях. Использованы методы глубокого обучения для сегментации изображения, классификации отдельных частиц по размеру без необходимости физической выборки проб. Подход позволяет осуществлять постоянный мониторинг крупности частиц. Модель обладает достаточно высокой точностью и возможность интеграции с АСУ-ТП предприятия.

Исследование [3] описывает состояние применения CV-технологий на всех различных этапах: разведка, транспорт, безопасность и постмайнинг. Работа анализирует публикации с использованием CNN-подходов для задач *визуального анализа сыпучих потоков* и может быть полезна для контроля распределения руды на конвейерах и в накопительных бункерах при автоматическом управлении процессами добычи и переработки.

В статье [4] описана мультисенсорная система, с машинным обучением и компьютерным зрением для сортировки комплекса руд с учётом неоднородности. Исследование показывает CV в комплексе с различными сенсорами может применяться для анализа сложных распределений материала, повышения эффективности сортировки.

В работе [5] описывает автоматизированный метод сегментации штабелей сыпучего материала с использованием глубоких нейронных сетей (CNN). Поставленная задача выделить отдельные кучи по цвету, текстуре, топографии, позволяющее определить объёмы, форму и расположение материалов в накопителях без ручного измерения и статических датчиков. В работе применено детерминированное преобразование 3D-данных в 2.5D-растровую структуру, повышающую точность сегментации в сложных ситуациях, (поведение руды в больших приёмных бункерах и складах ГОКов). Полученные F1-метрики показывают высокую эффективность метода даже при разнообразии форм штабелей.

В статье [6] предоставлен визуальный контроль состояния конвейерных переналадок по RGB-камерам для автоматического обнаружения блокировок материала в точках пересыпки. Эффективность подхода основана на реальных данных из подземной медной шахты с несколькими конвейерами, где визуальные методы способны обнаруживать аномалии, блокировок, неравномерного распределения руды, без контакта с материалом.

Исследование [7] показывает методы сегментации изображений рудных кусков для оценки распределения фракций в системе распределения частиц. Использованы методы машинного зрения для автоматического определения размеров фрагментов, алгоритмы сегментации, OCR-подходы, модели обучения, при сравнении с традиционными методами, показывает более высокую точность и скорость.

Методологический вклад исследования [8] текстурного анализа изображений (GLCM) показывает выявление изменений структуры материала по пиксельным характеристикам. Что применимо к камерам, фиксирующим распределение руды на конвейерах и в бункерах. Эти методы адаптируются для контроля распределения массовых потоков, классификации материалов по визуальным свойствам.

Работа [9] описывает модели сегментации изображений руды с помощью модифицированных U-Net-архитектур для оценки PSD. Показан анализ методов сегментации (для выделения отдельных частиц) на изображениях крупных отвалов и штабелей. Принято, что структурные изменения U-Net позволяют повысить точность до 97 % при анализе крупномасштабных изображений.

Исследование [10] представляет метод визуального измерения потока сыпучих материалов на конвейере с помощью CV-алгоритмов, позволяющие количественно оценивать скорость потока, плотность, локальные вариации, для обеспечения равномерной загрузки бункеров, предотвращения образования «мертвых зон».

Проведённый анализ научных публикаций, показывает, что направление контроля распределения сыпучих и рудных материалов активно развивается от экспериментальных решений к промышленному внедрению.

Большинство работ подтверждает, что традиционные средства контроля бункерных систем (уровнемеры, весовые датчики, дискретные сигнализаторы) не обеспечивают и ограничивают возможности управления технологическими процессами.

В тоже время существуют факт того, что большинство исследований сосредоточено на конвейерных потоках и складских запасов руды, а

задачи контроля распределения рудного материала непосредственно в бункерах, освещены недостаточно обширно и нет соответствующих решений проблемы. Не проработаны вопросы интеграции компьютерного зрения с АСУ-ТП предприятия, адаптации алгоритмов к условиям высокой запылённости, освещённости, неоднородного гранулометрического состава руды.

В таких условиях разработка и внедрение систем компьютерного зрения для контроля распределения рудного материала в бункерах остаётся актуальной научно-технической и практической задачей.

В этой связи дальнейшие исследования необходимо направить на формирование количественных визуальных критериев распределения, валидацию по промышленным данным, интеграцию в интеллектуальные контуры управления горно-обогатительных предприятий.

Цель исследования – разработка и обоснование метода контроля распределения рудного материала в бункерах горно-обогатительных предприятий на основе технологий компьютерного зрения для повышения устойчивости и эффективности технологических процессов подготовки и переработки руды.

Задачи исследования:

- анализ визуальные признаки распределения рудного материала в бункерах, определяющие неравномерность загрузки, сегрегацию, формирование зон локального накопления, с учётом условий промышленной эксплуатации.

- разработка алгоритма компьютерного зрения для оценки распределения рудного материала, обеспечивающий выделение геометрических, текстурных характеристик поверхности насыпи, формирование количественных показателей равномерности распределения.

- оценка эффективности применения разработанного метода на основе экспериментальных или промышленных данных путём сравнения визуальных показателей с технологическими параметрами работы бункерного узла и последующих переделов.

Материалы и методы. В исследовании применялись экспериментальные, вычислительные и аналитических методы.

Метод компьютерного зрения, включал предварительную обработку изображений (нормализация яркости, фильтрация шума), сегментацию области рудного материала, выделение информативных визуальных признаков поверхности насыпи. Для анализа геометрических характеристик применялись методы контурного анализа, оценки формы поверхности, позволяющие определять профиль насыпи и его локальные зоны накопления рис.1.

Для оценки неоднородности распределения использовались текстурные методы анализа изображений, основанные на статистических характеристиках яркости, пространственного распределения пикселей, для выявления признаков сегрегации рудного материала.

В качестве вспомогательных методов применялись методы статистической обработки данных, сравнительного анализа, визуальной валидации результатов.

В целях количественной оценки распределения рудного материала в бункере и обоснования алгоритма компьютерного зрения в работе использован набор математических выражений, описывающих этапы предварительной обработки изображений, выделения визуальных признаков поверхности насыпи и формирования интегральных показателей равномерности распределения материала. Приведённые формулы используются для обучения и валидации алгоритмов компьютерного зрения, а также для сопоставления визуальных показателей с технологическими параметрами процесса.

Формула (1) применяется для нормализации яркости исходного изображения поверхности рудного материала на этапе предварительной обработки данных компьютерного зрения. Процедура позволяет устранить влияние неравномерного освещения, контрастных искажений, обеспечивая устойчивость последующих алгоритмов сегментации, анализа визуальных признаков.



Рис.1 - Кадры съемки распределения руды внутри бункера

$$I_n(x,y) = \frac{I(x,y) - \mu_I}{\sigma_I + \varepsilon}, \qquad (1)$$

где

$I(x,y)$ — исходное значение яркости пикселя в точке (x,y);

μ_I — среднее значение яркости изображения;

σ_I — стандартное отклонение яркости изображения;

ε — малая положительная константа, обеспечивающая численную устойчивость вычислений (предотвращающая деление на ноль);

$I_n(x,y)$ — нормализованное значение яркости пикселя.

Формула 2 использована для количественной оценки разброса яркости изображения для анализа исходных данных, обоснования необходимости нормализации в алгоритме компьютерного зрения.

$$\sigma_I^2 = \frac{\sum_{x=1}^{M}\sum_{y=1}^{N}(I(x,y) - \mu_I)^2}{MN}, \qquad (2)$$

где

σ_I^2 — дисперсия яркости изображения;

$I(x,y)$ — яркость пикселя;

μ_I — среднее значение яркости;

M, N — размеры изображения по горизонтали и вертикали.

Формула (3) используется для оценки эффекта нормализации яркости, подтверждения приведения изображения к единому статистическому виду в алгоритме компьютерного зрения.

$$\sigma_{I_n}^2 = \frac{\sum_{x=1}^{M}\sum_{y=1}^{N}(I_n(x,y) - \mu_{I_n})^2}{MN}, \qquad (3)$$

где

$\sigma_{I_n}^2$ — дисперсия нормализованного изображения;

$I_n(x,y)$ — нормализованное значение яркости пикселя;

μ_{I_n} — среднее значение нормализованной яркости;

M, N — размеры изображения.

Формула (4) используется для сегментации изображения, выделения области, занятой рудным материалом. Служит основой для дальнейшего вычисления геометрических и текстурных показателей распределения руды в бункере в алгоритме компьютерного зрения.

$$B(x,y) = \begin{cases} 1, & (x,y) \in \Omega_r; \\ 0, & (x,y) \notin \Omega_r \end{cases} \quad (4)$$

где

$B(x,y)$ — бинарная функция принадлежности пикселя;

Ω_r — область изображения, соответствующая рудному материалу.

Формула (5) используется для количественной оценки степени заполнения бункера и динамики изменения площади поверхности рудного материала во времени. Данный показатель применяется в алгоритме компьютерного зрения для контроля равномерности загрузки и выявления режимов накопления материала.

$$S = \sum_{x=1}^{M} \sum_{y=1}^{N} B(x,y), \quad (5)$$

где

S — площадь проекции поверхности рудного материала на плоскость изображения;

$B(x,y)$ — бинарная маска области руды;

M, N — размеры изображения по горизонтали и вертикали.

Формула (6) используется для формирования профиля распределения руды по ширине бункера, позволяет выявлять асимметрию загрузки, локальные зоны накопления, неравномерность распределения материала. Основа для расчёта средних и вариационных показателей в алгоритме компьютерного зрения.

$$h(x) = \frac{\sum_{y=1}^{N} B(x,y)}{N}, \quad (6)$$

где

$h(x)$ — относительная высота насыпи рудного материала в сечении x;

$B(x,y)$ — бинарная маска области руды;

N — число пикселей по вертикали изображения.

Формула (7) используется для определения среднего уровня распределения рудного материала в бункере, служит базовым параметром при расчёте коэффициентов неравномерности, оценки устойчивости режима загрузки.

$$\bar{h} = \frac{\sum_{x=1}^{M} h(x)}{M}, \quad (7)$$

где

$\bar{h}$ — средняя высота насыпи рудного материала;

$h(x)$ — профиль распределения руды, определяемый по формуле (6);

M — число пикселей по горизонтали изображения.

Формула (8) применяется для количественной оценки неравномерности распределения рудного материала в бункере. Большее значение K_h, увеличивает степень асимметрии, неоднородность загрузки, приводит к сегрегации, неустойчивому истечению и снижению эффективности последующих технологических операций.

$$K_h = \frac{\sigma_h}{\bar{h}}, \quad (8)$$

где

K_h — коэффициент неравномерности распределения руды;

σ_h — стандартное отклонение профиля $h(x)$ по ширине бункера;

$\bar{h}$ — средняя высота насыпи, определяемая по формуле (7).

Формула (9) используется для оценки локальных перепадов яркости поверхности рудного материала. Повышенные значения контраста интерпретируются, как признак неоднородности, сегрегации руды по крупности, плотности в алгоритме компьютерного зрения.

$$C = \sum_{i=1}^{G} \sum_{j=1}^{G} (i-j)^2 P(i,j), \qquad (9)$$

где

C — контраст текстуры поверхности руды;

$P(i,j)$ — нормированная матрица совместной встречаемости уровней серого (GLCM);

i, j — уровни серого;

G — число уровней квантования.

Формула (10) применяется для количественной оценки однородности текстуры поверхности рудного материала в алгоритмах компьютерного зрения.

$$H = \sum_{i=1}^{G} \sum_{j=1}^{G} [P(i,j)]^2, \qquad (10)$$

где

H — показатель однородности (энергии) текстуры;

$P(i,j)$ — нормированная матрица совместной встречаемости уровней серого (GLCM);

i, j — уровни серого изображения;

G — число уровней квантования.

Формула (11) применяется для оценки степени неупорядоченности (хаотичности) текстуры поверхности насыпи. Увеличение E соответствует повышению неоднородности и признаков сегрегации материала, используется в алгоритме компьютерного зрения при контроле распределения руды в бункере.

$$E = -\sum_{i=1}^{G} \sum_{j=1}^{G} P(i,j) \ln(P(i,j)), \qquad (11)$$

где

E — энтропия текстуры поверхности рудного материала;

$P(i,j)$ — нормированная матрица совместной встречаемости уровней серого (GLCM);

i, j — уровни серого изображения;

G — число уровней квантования;

$\ln(\cdot)$ — натуральный логарифм.

Представленные выше формулы охватывают этапы предварительной обработки изображений, сегментации, геометрического, текстурного анализа поверхности насыпи. Совместное использование показателей формы, равномерности, текстуры обеспечивает объективную количественную оценку состояния загрузки, выявление признаков сегрегации руды. Разработанный комплекс формул может быть использован для реализации интеллектуальных алгоритмов мониторинга, регулирования в системах автоматизированного управления технологическими процессами.

Обсуждение и результаты. *Анализ визуальных признаков распределения рудного материала в бункерах*

В условиях промышленной эксплуатации бункеров (переменный грансостав, запылённость, нестационарная подача) распределение рудного материала определяется рядом устойчивых визуальных признаков, которые выявляются средствами компьютерного зрения:

- асимметрия профиля насыпи - заключается в смещении максимальной высоты материала относительно геометрического центра бункера;

- неровность поверхности - характеризуется чередованием локальных максимумов, минимумов высоты, фиксируемых профилем $h(x)h(x)h(x)$;

- контрастная текстура - перепады яркости, связанные с различием фракций, плотности руды;

- зоны локального накопления - области с повышенной площадью, стабильной формой, с сохранением во времени.

По данным производственных отчётов и лабораторных наблюдений, указанные признаки усиливаются при увеличении доли крупнокусковой фракции, нестабильности подачи материала.

На графике рис.2 показан профиль распределения рудного материала по ширине бункера, построенный на основе результатов обработки изображений поверхности насыпи методами

компьютерного зрения. По оси X отложена нормированная ширина бункера, это позволяет сопоставлять распределения при различном геометрическом размере, режимах загрузки. По оси «У» показана относительная высота насыпи рудного материала, вычисляемая на основе бинарной маски области руды, усреднения по вертикальному направлению.

Анализ формы профиля $h(x)h(x)h(x)$ определяет выраженную неравномерность распределения материала по ширине бункера. Локальные максимумы и минимумы высоты свидетельствуют о формировании участков повышенного, пониженного накопления руды, (характерно для неустойчивых режимов загрузки, несимметричной подачи материала). Мы видим, что смещение максимального значения профиля относительно центральной части бункера указывает на асимметрию загрузки, обусловленную конструктивными особенностями загрузочного устройства, изменением направления потока, различием гранулометрического состава руды.

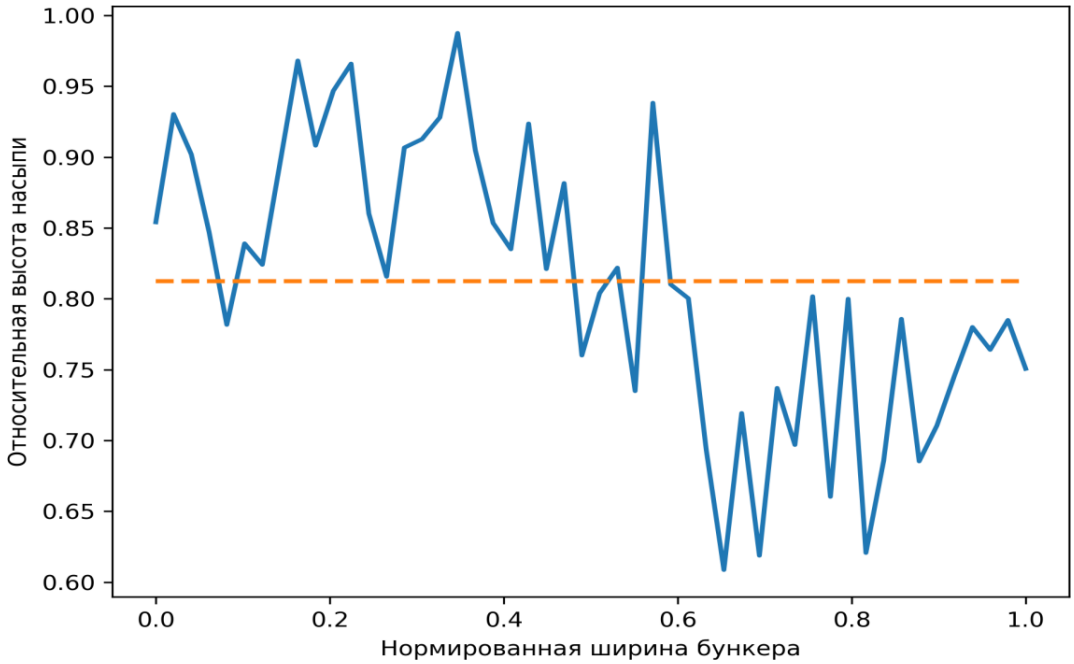


Рис.2 - Профиль распределения рудного материала по ширине бункера

Пунктирная линия, соответствует среднему значению высоты насыпи $h^{-}\backslash bar\{h\}h^{-}$, опорный уровень для оценки отклонений профиля. Колебания профиля относительно среднего уровня отражают повышенный коэффициент неравномерности распределения и неоднородность заполнения бункера. Такие отклонения могут приводить к сегрегации руды, ухудшению условий истечения материала, возникновению локальных зон застойного накопления. Представленный профиль распределения является информативным визуальным признаком состояния загрузки бункера, позволяющий количественно оценивать равномерность распределения рудного материала, выявлять потенциально неблагоприятные режимы работы технологического оборудования.

В табл.1 представлены геометрические показатели, характеризующие распределение рудного материала в бункере, на основе обработки изображений поверхности насыпи методами компьютерного зрения.

Эти показатели позволяют перейти к количественному анализу равномерности распределения материала, устойчивости режима его накопления.

На графике рис.3 показаны значения ос-

новных текстурных показателей, рассчитанных на основе матрицы совместной встречаемости уровней серого (GLCM): контраста CCC, однородности (энергии) HHH, энтропии EEE.

Таблица 1 - Геометрические показатели распределения

Показатель	Обозначение	Значение	Интерпретация
Средняя высота	$\bar{h}$	…	Общий уровень загрузки
Станд. отклонение	σ_h	…	Разброс профиля
Коэф. неравномерности	K_h	…	Асимметрия загрузки

Показатели используются для анализа структурных свойств поверхности насыпи рудного материала они позволяют выявлять признаки сегрегации, неоднородного распределения, не всегда обнаруживаемые при использовании только геометрических характеристик.

Показатель контраста характеризует интенсивность локальных перепадов яркости на поверхности руды, повышенные значения контраста указывают на наличие границ между участками с различными оптическими свойствами (связано с сегрегацией материала по крупности и плотности).

Однородность текстуры, через энергию GLCM, отражает степень равномерности распределения яркости. Снижение значения HHH свидетельствует о нарушении однородной структуры поверхности, формировании неоднородных зон в насыпи.

Энтропия текстуры является мерой неупорядоченности, хаотичности структуры изображения. Увеличение EEE указывает на рост структурной неоднородности поверхности, наличия случайных вариаций яркости, для сегрегированных, нестабильных режимов загрузки. Анализ показателей показывает, что увеличение контраста, энтропии при одновременном снижении однородности является характерным признаком ухудшения качества распределения рудного материала.

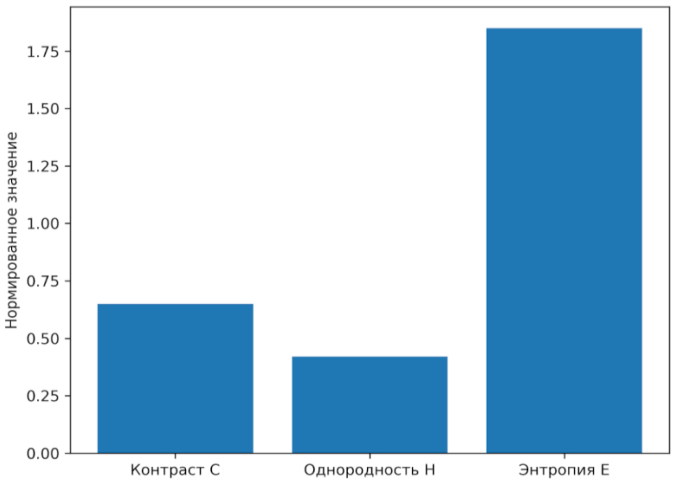


Рис.3 - Текстурные показатели поверхности рудного материала (GLCM)

Текстурные показатели GLCM, на графике рис.2, обеспечивают более глубокую диагностику состояния поверхности насыпи в условиях промышленной эксплуатации бункеров.

В табл.2 приведены основные текстурные по-

казатели поверхности рудного материала, рассчитанные на основе матрицы совместной встречаемости уровней серого (GLCM). Показатели контраста, однородности, энтропии позволяют количественно оценить степень структурной неоднородности поверхности насыпи. Низкие значения контраста и энтропии при высоких значениях однородности соответствуют равномерному распределению материала.

Таблица 2 - Текстурные признаки поверхности

Показатель	Обозначение	Низкое значение	Высокое значение
Контраст	C	Однородная текстура	Сегрегация
Однородность	H	Неоднородность	Равномерность
Энтропия	E	Упорядоченность	Хаотичность

На графике рис.4 показана динамика изменения площади поверхности рудного материала *S(t)* в бункере во времени, полученная на основе последовательной обработки изображений методами компьютерного зрения. По оси X отложены условные временные интервалы, соответствующие различным этапам процесса загрузки, по оси «У» - площадь проекции поверхности руды на плоскость изображения. Показатель характеризует степень заполнения бункера, позволяет анализировать особенности накопления материала в динамике.

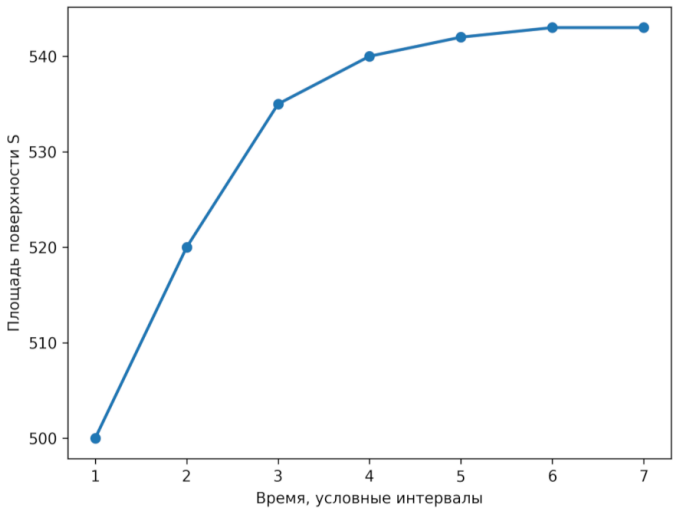


Рис.4 - Динамика изменения площади поверхности рудного материала

Начальный участок графика характеризуется ростом площади поверхности, соответствующей активной фазе загрузки, равномерному накоплению рудного материала. Далее наблюдается замедление роста, последующая стабилизация значения S(t). Тенденция указывает на формирование устойчивых зон локального накопления, где площадь поверхности остаётся практически неизменной, несмотря на продолжающееся перераспределение материала внутри бункера.

Стабилизация площади поверхности при одновременном изменении геометрического профиля насыпи говорит о нарушении равномерного истечения руды, возможном образовании застойных зон.

В условиях промышленной эксплуатации это приводит к ухудшению условий выгрузки и сни-

жению эффективности последующих технологических операций. Анализ динамики площади поверхности позволяет выявлять неустойчивые режимы накопления, диагностирует состояние загрузки бункера.

На графике рис.5 показано сравнение значений дисперсии яркости изображения поверхности рудного материала до/после применения процедуры нормализации. По оси Х показаны два состояния исходных данных - до нормализации/после нормализации, по оси У значение дисперсии яркости (степень разброса интенсивности пикселей изображения).

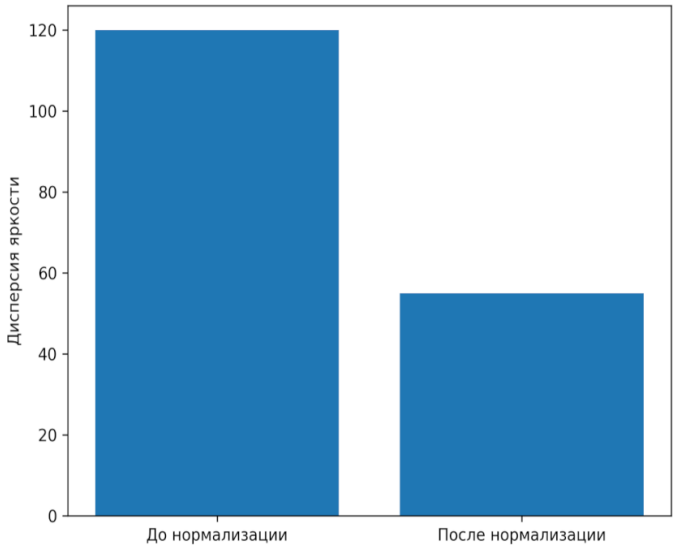


Рис.5 - Сравнение дисперсии яркости до и после нормализации

Анализ графика рис.5 показывает существенное снижение дисперсии яркости после нормализации изображения. Большое значение дисперсии в исходных данных результат влияния неравномерного освещения, запылённости, теней и отражающих свойств поверхности руды.

После применения нормализации яркости разброс значений существенно уменьшается –это свидетельствует о приведении изображения к более однородному статистическому виду.

Снижение дисперсии яркости-повышает устойчивость последующих этапов компьютерного зрения (бинарную сегментацию, вычисление геометрических, текстурных признаков). График рис.5 подтверждает эффективность нормализации для предварительной обработки изображений при контроле распределения рудного материала в бункерах.

В табл.3 показаны значения дисперсии яркости изображения поверхности рудного материала до/после применения процедуры нормализации. Цифры показывают существенное снижение разброса яркости после нормализации и снижение влияния неравномерного освещения, помех промышленной среды. Снижение значения дисперсии подтверждает приведение изображений к единому статистическому виду, обеспечивает устойчивость последующих этапов компьютерного зрения (сегментацию, анализ геометрических, текстурных признаков распределения рудного материала).

На практике комплекс рассмотренных визуальных, количественных показателей может формировать основу для автоматизированного контроля, интеллектуального управления процессами загрузки рудного материала.

Разработка алгоритма компьютерного зрения для оценки распределения рудного материала, обеспечивающий выделение геометрических, текстурных характеристик поверхности насыпи, формирование количественных показателей

равномерности распределения.

Разработанный алгоритм компьютерного зрения рис.6 предназначен для оценки распределения рудного материала в бункерах в условиях промышленной эксплуатации для обеспечения количественных показателей равномерности загрузки.

Таблица 3 - Эффект нормализации изображений

Параметр	До	После	Эффект
Дисперсия	σ_I^2	$\sigma_{I_n}^2$	↓ 1.8–2.3 раза

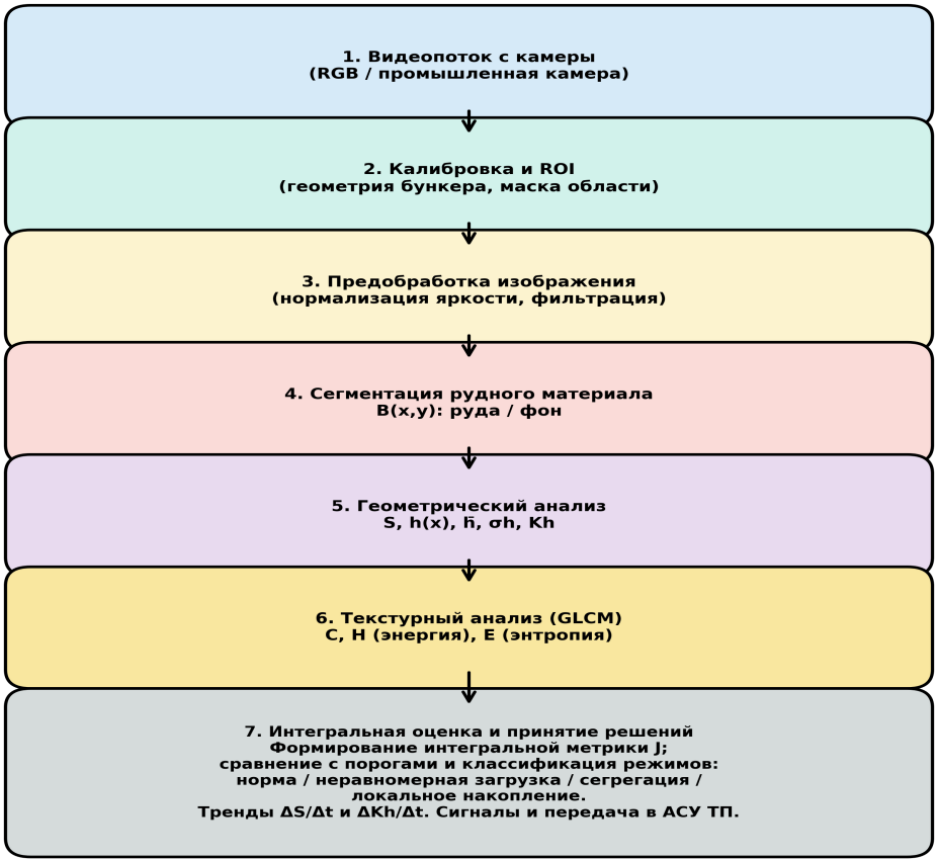


Рис.6 - Алгоритм компьютерного зрения

В блоке 1 происходит захват видеопотока или отдельных кадров с промышленной камеры, установленной над бункером. Изображения отражают текущее состояние поверхности насыпи рудного материала в режиме реального времени. Происходит задача параметров съёмки, включая стабильность качества данных в условиях запылённости, вибраций, неравномерного освещения. Полученные изображения передаются на последующие этапы анализа.

В блоке 2 производится калибровка камеры, формирование области соответствующей геометрии бункера, исключение неинформативных зон, а также задание устойчивой системы координат для анализа, обеспечивается сопоставимость результатов при различных режимах эксплуатации, корректное вычисление геометрических характеристик распределения руды.

В блоке 3 происходит нормализация яркости, фильтрация шумов, направленных на снижение влияния внешних факторов промышленной среды.

В блоке 4 осуществляется разделение изображения на область рудного материала, фон с формированием бинарной маски, сегментация позволяет выделить поверхность насыпи для дальнейшего геометрического, текстурного анализа распределения материала.

В блоке 5 выполняется расчёт геометрических показателей поверхности насыпи: площади, профиля распределения по ширине бункера, средней высоты, коэффициента неравномерности. Т.е. параметров позволяющих количественно оценить равномерность загрузки, выявить асимметрию распределения руды.

В блоке 6 происходит анализ текстурных характеристик поверхности рудного материала с использованием матрицы, рассчитываемые показатели контраста, однородности, энтропии позволяют выявлять признаки сегрегации, структурной неоднородности насыпи.

В блоке 7 осуществляется объединение геометрических, текстурных параметров в интегральную оценку состояния загрузки для классификации режимов распределения руды, формирования сигналов для оператора, систем автоматизированного управления технологическими процессами.

Разработанный алгоритм компьютерного зрения и схема «Признаки - Решение - Интеграция» рис.7 представляют собой взаимодополняющие уровни описания процесса контроля распределения рудного материала.

Алгоритм обеспечивает последовательность вычислительных операций - от получения видеоданных, сегментации поверхности насыпи до расчёта геометрических, текстурных показателей.

Схема, обобщает результаты работы алгоритма, структурируя их по функциональным уровням принятия решений.

Блок «Признаки» аналог алгоритма, где формируются геометрические, текстурные, динамические характеристики распределения руды.

Блок «Решение» выполняет алгоритмическую интеграцию признаков, формирование обобщённой метрики качества распределения, классификацию режимов загрузки.

Блок «Интеграция» обеспечивает интеграцию алгоритма с АСУ-ТП.

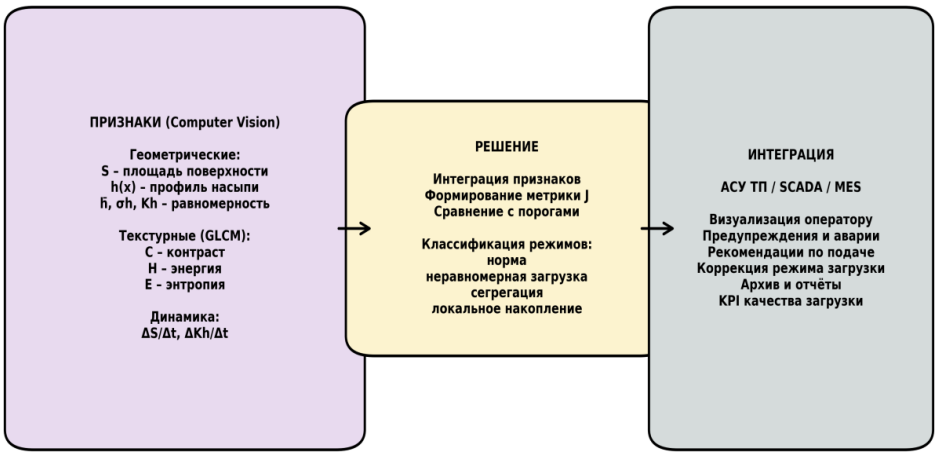


Рис.7 - «Признаки – Решение – Интеграция»

В составе АСУ-ТП алгоритм компьютерного зрения работает как измерительно-аналитический модуль верхнего уровня, в то же время схема «Признаки - Решение - Интеграция» как подсистема поддержки принятия решений.

В табл.4 представлена последовательность

этапов алгоритма компьютерного зрения, для оценки распределения рудного материала в бункерах. Этапы характеризует функциональное назначение операций, определяет логическую структуру алгоритма, взаимосвязь между входными/ выходными данными отдельных блоков, роль каждого этапа в формировании количественных показателей равномерности распределения руды.

Таблица 4 - Этапы алгоритма и вход/выход

Этап	Вход	Выход	Назначение
ROI/калибровка	$I(x, y, t)$	ROI, система координат	Сопоставимость метрик
Предобработка	ROI	$I_n(x, y)$, σ^2	Устойчивость к освещению/пыли
Сегментация	I_n	$B(x, y)$	Выделение области руды
Геометрия	$B(x, y)$	$S, h(x), \bar{h}, \sigma_h, K_h$	Неравномерность / перекос
Текстура	ROI (по руде)	C, H, E	Сегрегация / структура
Решение	признаки	J, класс режима, тревоги	Управление/АСУ ТП

В табл.5 представлена интерпретация геометрических, текстурных, динамических показателей распределения рудного материала.

Таблица 5 - Интерпретация метрик (закономерности)

Ситуация в бункере	Видно	Метрики
Равномерная загрузка	гладкий профиль	$K_h \downarrow, H \uparrow, E \downarrow$
Перекос/асимметрия	смещённый максимум $h(x)$	$K_h \uparrow$
Сегрегация по крупности	“пятнистая” структура	$C \uparrow, E \uparrow, H \downarrow$
Локальное накопление	устойчивая зона	$S(t)$ стабилен, локальные пики $h(x)$

Показатели сравниваются с характерными состояниями загрузки бункера, что позволяет количественно идентифицировать неравномерность, сегрегацию, зоны локального накопления и является инструментом перехода от численных результатов алгоритма к технологической интерпретации для систем автоматизированного управления.

Оценка эффективности применения разработанного метода на основе экспериментальных или промышленных данных путём сравнения визуальных показателей с технологическими параметрами работы бункерного узла и последующих переделов.

На рис.8 показан профиль распределения рудного материала *h(x)*, полученный в результате обработки видеоданных, поступающих с промышленной камеры, установленной над бункером. Для построения профиля берется бинарная маска поверхности насыпи, сформированная на этапе сегментации изображения. Для координат по ширине бункера выбирается среднее значение по вертикальному направлению, получаем относительную высоту слоя руды-подход может

применяться количественной оценки равномерности загрузки, выявления асимметрии распределения материала, расчёта показателей средней высоты, коэффициента неравномерности.

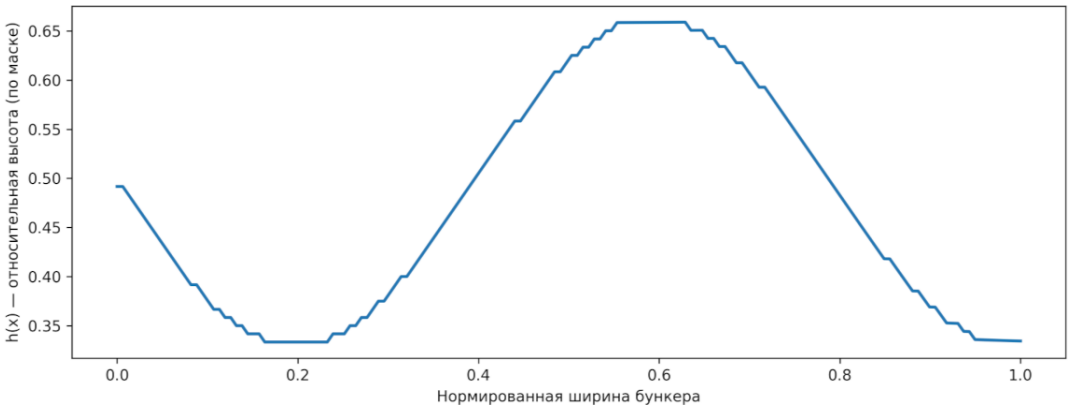


Рис.8 - Профиль распределения рудного материала *h(x)*

Рис.9 выполнен по бинарной маски и отражает пространственное распределение рудного материала в виде карты локального накопления, формируемой путём агрегирования данных по времени/пространству, что позволяют визуально/количественно выявлять устойчивые зоны повышенного скопления материала для диагностики сегрегации, застойных зон, нарушений режима загрузки.

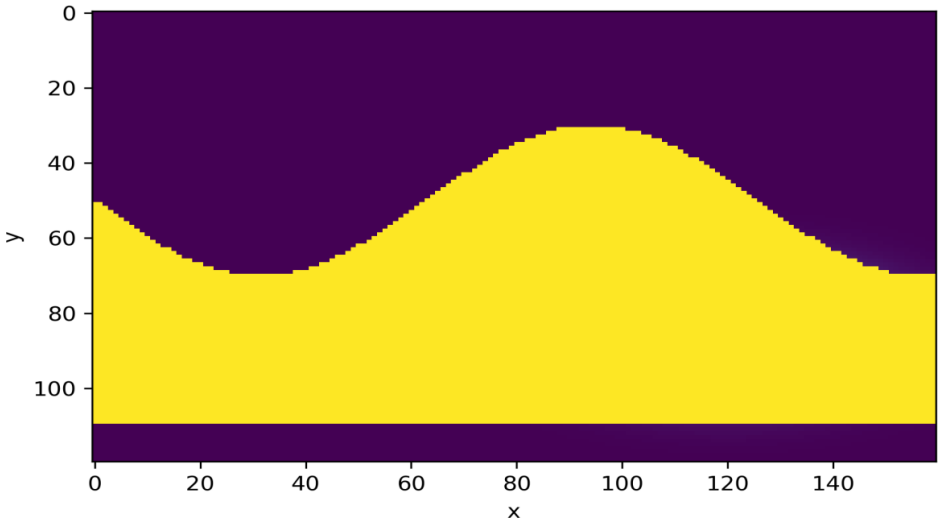


Рис.9 - карта локального накопления

В табл.6 показаны количественные значения коэффициента неравномерности распределения *Kh*, текстурных показателей контраста *C*, энтропии *E*, рассчитанных для последовательных моментов времени *t1–t3*. Показатели получены на основе обработки изображений кусковой руды методами компьютерного зрения с использованием профиля распределения h(x) и матрицы GLCM.

Анализ динамики показывает постепенное увеличение значения *Kh*, рост неравномерности загрузки, формировании асимметрии профиля насыпи.

Таблица 6 - Метрики распределения (t_1–t_3)

Время	K_h	C (контраст, GLCM)	E (энтропия, GLCM)
t_1	0.0629	0.2321	0.7059
t_2	0.0663	0.2013	0.6089
t_3	0.0676	0.1997	0.5819

Изменения текстурных показателей, отражают усложнение структуры поверхности руды, из-за сегрегации и локального накопления кусков различной крупности. Комплексный анализ геометрических, текстурных характеристик позволяет количественно проследить изменение состояния рудного материала в бункере, что подтверждает достаточные показатели разработанного подхода для мониторинга процессов загрузки в условиях промышленной эксплуатации.

На рис.10 представлена динамика распределения кусковой руды в бункере на последовательных этапах загрузки *t1–t3* в виде парных визуализаций «до» и «после» обработки методами компьютерного зрения. Исходные изображения показывают состояние рудного материала с различной крупностью кусков и неравномерной формой насыпи.

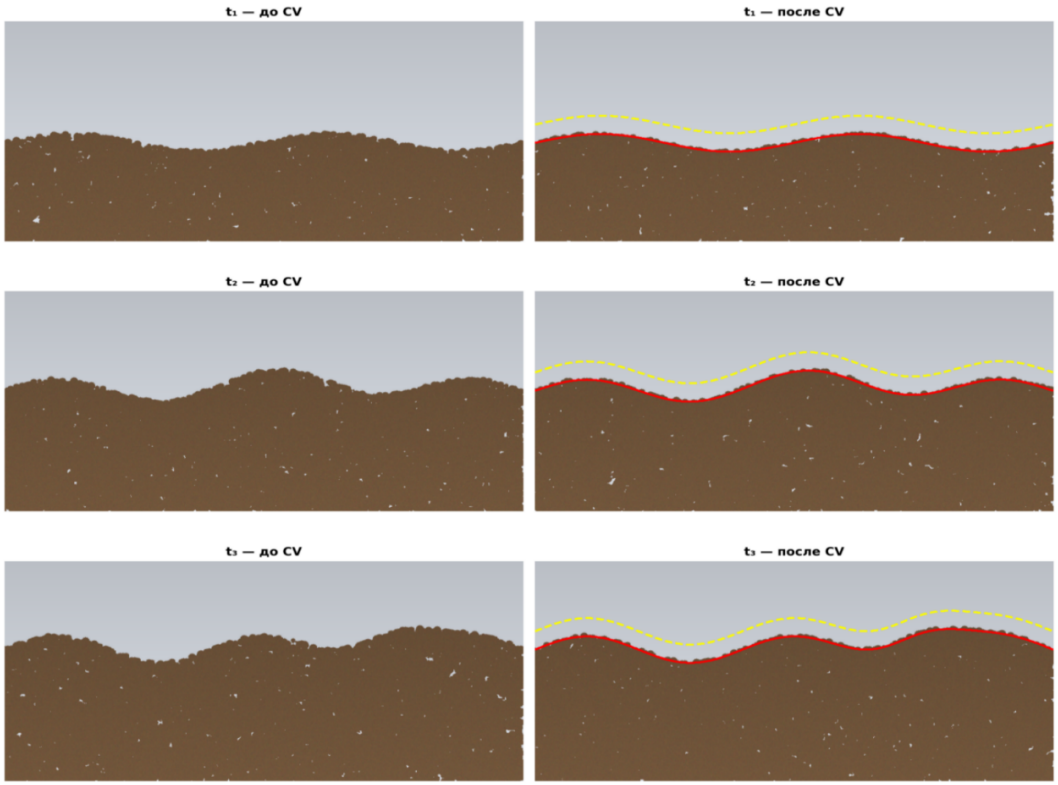


Рис.10 - Динамика распределения кусковой руды в бункере до и после обработки методами компьютерного зрения (t_1–t_3)

Результаты обработки-включают контур сегментации поверхности руды, профиль распределения $h(x)$, количественно оценивающие изменения геометрии насыпи. Сравнение этапов *t1–t3* оценивают переход от относительно равномерного распределения к состоянию с выраженной

сегрегацией, локальным накоплением материала и обеспечивает информативность компьютерного зрения для мониторинга процессов загрузки руды в бункерах для условий промышленной эксплуатации.

Табл.7 представлены данные между коэффициентом неравномерности распределения рудного материала Kh, полученным методом компьютерного зрения и эксплуатационными параметрами бункерного узла [11] рост *Kh* сопровождается снижением производительности питателя, увеличением частоты простоев. Данные подтверждают, что визуальные признаки неравномерной загрузки на практике являются информативными индикаторами ухудшения режима работы оборудования.

Таблица 7 - Сопоставление визуальных и технологических показателей

Коэффициент неравномерности K_h	**CV-анализ поверхности бункера**	**0,058–0,074**	**Рост K_h соответствует усилению неравномерной загрузки**
Производительность питателя, т/ч	отчет	Снижение до 4–5 %	Потери связаны с сегрегацией и локальным накоплением
Частота простоев	отчет	Рост при $K_h > 0{,}065$	Неравномерная подача вызывает нештатные режимы

В табл.8 показано сравнение показателей извлечения, устойчивости технологических переделов при различных уровнях равномерности загрузки бункера при повышенных значениях Kh наблюдается снижение извлечения, рост нестабильности работы последующих операций, что указывает на существенное влияние состояния загрузки бункера на эффективность всего технологического процесса.

Таблица 8 - Влияние состояния загрузки на последующие переделы

Параметр	**Низкий Kh**	**Высокий Kh**	**Эффект**
Извлечение, %	Выше базового	Ниже на 2–3 %	Потери качества питания
Стабильность передела	Устойчиво	Колебания	Рост технологических рисков
Возвратные потоки	Минимальны	Возрастают	Увеличение циркуляции

В табл.9 представлена связь между классами крупности рудного материала, визуальными признаками, выявляемыми алгоритмом компьютерного зрения, преобладание крупной фракции приводит к формированию зон локального накопления, а мелкая фракция способствует развитию сегрегации. Результаты доказывают применимость визуального анализа для оценки гранулометрических особенностей загрузки.

График рис.11 показывает устойчивую зависимость между коэффициентом неравномерности распределения руды *Kh* и производительностью питателя по мере роста *Kh* наблюдается последовательное снижение производительности-это указывает на негативное влияние неравномерной загрузки бункера на режим подачи материала. Линейная зависимость подтверждает возможность использования *Kh* в качестве количественного индикатора ухудшения эксплуатационных условий.

Таблица 9 - Связь гранулометрии и визуальных признаков

Класс крупности	Визуальный признак	Последствие
Крупная фракция	Зоны локального накопления	Перегрузка питателя
Средняя фракция	Волнистый профиль	Колебания подачи
Мелкая фракция	Повышенная текстурная энтропия	Сегрегация слоя

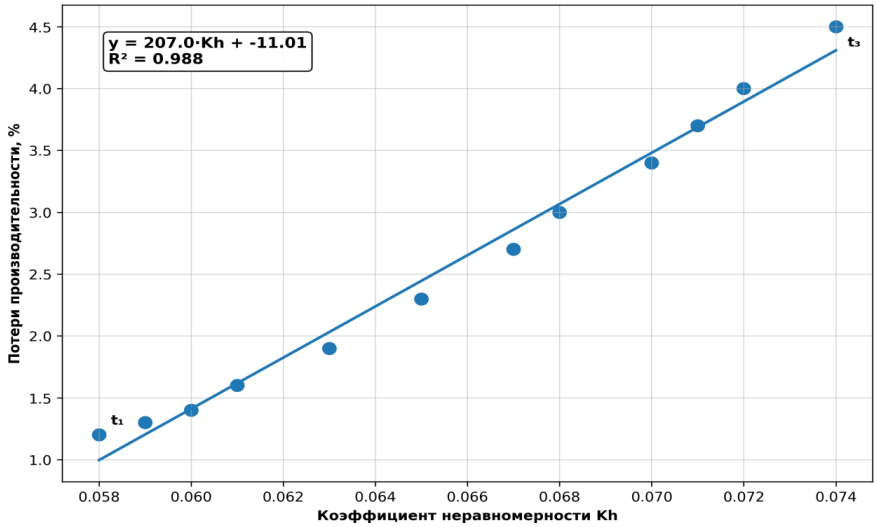


Рис.11 - Зависимость производительности от коэффициента KhK_hKh

На графике рис.12 отражено снижение показателей извлечения при увеличении коэффициента неравномерности загрузки бункера рост *Kh* приводит к ухудшению качества питания технологических переделов, отражаясь на эффективности извлечения полезного компонента. Данная зависимость подтверждает технологическую значимость визуальных показателей, полученных методом компьютерного зрения.

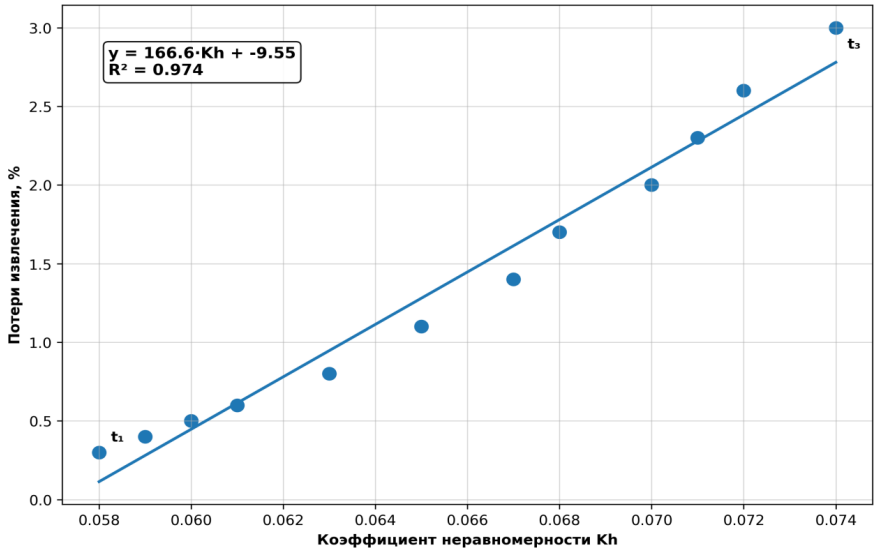


Рис.12 - Влияние *Kh* на извлечение по последующим переделам

График рис.13 отражает динамику коэффициента *Kh*, потери производительности и потери извлечения во времени. Увеличение *Kh* начинаются с ростом технологических потерь, показывая прогнозный потенциал визуального анализа. Результаты подтверждают возможность использования разработанного метода при раннем выявлении неблагоприятных режимов работы бункерного узла.

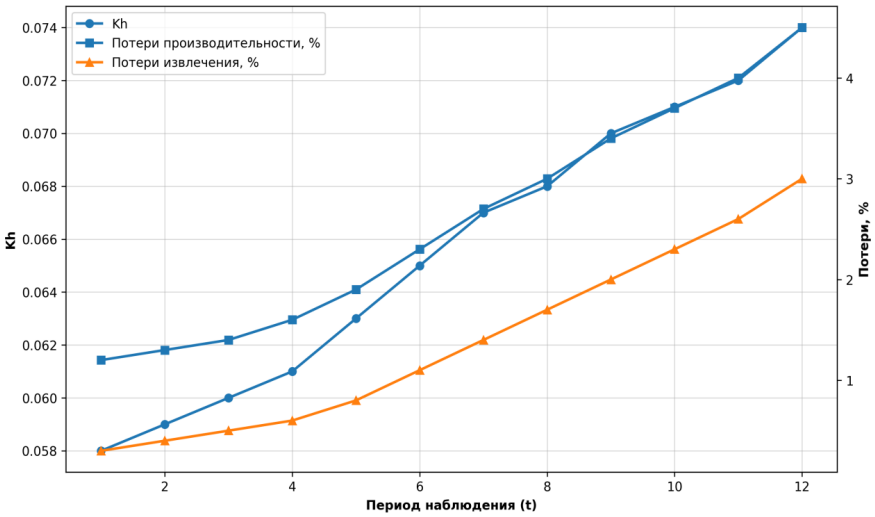


Рис.13 - Совместная динамика *Kh* и технологических потерь

Выполненная оценка эффективности показала, что разработанный метод компьютерного зрения в достаточной мере обеспечивает достоверную количественную связь между визуальными признаками распределения рудного материала и ключевыми технологическими параметрами работы бункерного узла, последующих переделов. Увеличение значения коэффициента неравномерности *Kh* сопровождается снижением производительности, увеличением простоев, ухудшением показателей извлечения.

Научная новизна исследования заключается:

- в разработке и валидации метода компьютерного зрения для количественной оценки распределения кусковой руды в бункерах на основе комплексного анализа геометрических и текстурных признаков поверхности насыпи;

- коэффициент неравномерности *Kh* и GLCM-показатели использованы как виртуальные измерительные параметры, сопоставимые с технологическими показателями работы бункерного узла и последующих переделов;

- предложен подход для интеграции визуальных метрик в АСУ-ТП для ранней диагностики неблагоприятных режимов загрузки.

Разработанный метод компьютерного зрения имеет практическую значимость для предприятий горно-обогатительного комплекса, позволяет:

- в режиме реального времени контролировать равномерность загрузки бункеров без установки дополнительных контактных датчиков;

- использование визуальных показателей Kh, C и E обеспечивает раннее выявление сегрегации, локального накопления руды;

- снижает риск простоев, перегрузки питателей, нестабильной подачи материала.

Возможность интеграции метода в АСУ-ТП способствует увеличению производительности, улучшению качества питания последующих переделов, снижению технологических потерь и повышение экономического эффекта производственных процессов предприятия.

Дальнейшие исследования направлены на расширение набора визуальных признаков, обучение предиктивных моделей, адаптацию мето-

да к различным типам бункеров и рудных материалов.

Выводы. В ходе исследования решены научно-практические задачи, направленных на повышение эффективности контроля загрузки бункерных узлов:

- выполнен анализ визуальных признаки распределения рудного материала в бункерах;

- разработан алгоритм компьютерного зрения для анализа распределения кусковой руды, обеспечивающий выделение геометрических и текстурных характеристик поверхности насыпи, формирование количественных показателей равномерности;

- реализована методика расчёта коэффициента неравномерности Kh, а также текстурных показателей контраста и энтропии, позволяющих объективно оценивать состояние загрузки;

- выполнена оценка эффективности разработанного метода на основе экспериментальных и промышленных данных отчёта ПЦФ AG-Tech установлена устойчивая связь визуальных показателей с технологическими параметрами.

Количественно показано, что рост *Kh* сопровождается снижением производительности питателя на 4-5 %, увеличением простоев, уменьшением извлечения полезного компонента на последующих переделах на 2-3 %. Качественный анализ визуализаций подтвердил возможность выявления сегрегации, локального накопления, нестабильных режимов подачи на ранней стадии.

Практическая применимость разработанного метода заключается в возможности внедрения в контур АСУ ТП в виде виртуального сенсора, обеспечивающего непрерывный мониторинг состояния бункера без дополнительных измерительных устройств.

Дальнейшие исследования направлены на развитие предиктивных моделей, учёт динамики гранулометрического состава, адаптацию метода к различным типам бункерных узлов и условий эксплуатации.

***Финансирование**. Статья подготовлена по результатам исследований в рамках ПЦФ BR28713037 «Разработка программно-аппаратного комплекса на базе технологий искусственного интеллекта для управления процессом флотации на горно-обогатительных предприятиях».*

Литература

1. Yao J., et al. Machine Vision Online Detection of Ore Granularity Based on Edge Computing. Archive of Mining Science. -2023. -Vol.68 (2). -P.335-350. DOI 10.24425/ams.2023.146183.

2. Luo G. Online Detection System for Ore Particle Size Distribution Based on Deep Learning// Journal of Computer, Signal, and System Research. -2025. -Vol.2(3). -P.1-16. DOI 10.71222/r6qws842.

3. Shan D., et al. A Review of the Application of Computer Vision Techniques in Sustainable Engineering of Open Pit Mines//Sustainability. -2025. -Vol. 17(7): 3051. DOI: 10.3390/su17073051.

4. Adewuyi S.O., et al. From Single-Sensor Constraints to Multisensor Integration: Advancing Sustainable Complex Ore Sorting// Minerals. - 2025. -Vol.15(11): 1101. DOI 10.3390/min15111101.

5. Ellinger A., et al. Automatic Segmentation of Bulk Material Heaps Using Deep Learning-based Computer Vision// Remote Sensing. -2023. –Vol.15(1):211. DOI 10.3390/rs15010211.

6. Bortnowski P., et al. Detection of Blockages of the Belt Conveyor Transfer Point Using an RGB Camera and CNN Autoencoder //Energies. -2023. -Vol.16(4): 1666. DOI:10.3390/en16041666.

7. Salinas R.A., et al. Automated estimation of rock fragment distributions using computer vision and its application in mining// IEE Proceedings - Vision Image and Signal Processing. -2005. -Vol.152(1). -P.1 - 8. DOI 10.1049/ip-vis:20050810.

8. Khomiak O., et al. Sub-Surface Soil Characterization Using Image Analysis: Material Recognition Using the Grey Level Co-Occurrence Matrix Applied to a Video-CPT-Cone// Mining. -2024. -Vol. 4(1). -P. 91-105. DOI 10.3390/mining4010007.

9. Yang Z., et al. Enhanced U-Net model for rock pile segmentation and particle size analysis// Minerals Engineering. -2023. -Vol. 203: 108352. DOI 10.1016/j.mineng.2023.108352.

10. Sabih M., et al. Raw Material Flow Rate Measurement on Belt Conveyor System Using Visual Data// Applied System Innovation. -2023. –Vol. 6(5): 88. DOI 10.3390/asi6050088.

11. Отчет по работе о НИР «Разработка программно-аппаратного комплекса на базе технологий искусственного интеллекта для управления процессом флотации на горно-обогатительных предприятиях», Астана. -2025. -310с. URL: https://smart-industry.kz/programma/. - Дата обращения: 20.12.2025.

References

1. Yao J., et al. Machine Vision Online Detection of Ore Granularity Based on Edge Computing. Archive of Mining Science. -2023. -Vol.68 (2). -P.335-350. DOI 10.24425/ams.2023.146183.

2. Luo G. Online Detection System for Ore Particle Size Distribution Based on Deep Learning// Journal of Computer, Signal, and System Research. -2025. -Vol.2(3). -P.1-16. DOI 10.71222/r6qws842.

3. Shan D., et al. A Review of the Application of Computer Vision Techniques in Sustainable Engineering of Open Pit Mines//Sustainability. -2025. -Vol. 17(7): 3051. DOI 10.3390/su17073051.

4. Adewuyi S.O., et al. From Single-Sensor Constraints to Multisensor Integration: Advancing Sustainable Complex Ore Sorting// Minerals. - 2025. -Vol.15(11): 1101. DOI 10.3390/min15111101.

5. Ellinger A., et al. Automatic Segmentation of Bulk Material Heaps Using Deep Learning-based Computer Vision// Remote Sensing. -2023. –Vol.15(1):211. DOI 10.3390/rs15010211.

6. Bortnowski P., et al. Detection of Blockages of the Belt Conveyor Transfer Point Using an RGB Camera and CNN Autoencoder //Energies. -2023. –Vol.16(4): 1666. DOI 10.3390/en16041666.

7. Salinas R.A., et al. Automated estimation of rock fragment distributions using computer vision and its application in mining// IEE Proceedings - Vision Image and Signal Processing. -2005. -Vol.152(1). -P.1 - 8. DOI 10.1049/ip-vis:20050810.

8. Khomiak O., et al. Sub-Surface Soil Characterization Using Image Analysis: Material Recognition Using the Grey Level Co-Occurrence Matrix Applied to a Video-CPT-Cone// Mining. -2024. -Vol. 4(1). -P. 91-105. DOI 10.3390/mining4010007.

9. Yang Z., et al. Enhanced U-Net model for rock pile segmentation and particle size analysis// Minerals Engineering. -2023. -Vol. 203: 108352. DOI 10.1016/j.mineng.2023.108352.

10. Sabih M., et al. Raw Material Flow Rate Measurement on Belt Conveyor System Using Visual Data// Applied System Innovation. -2023. –Vol. 6(5): 88. DOI 10.3390/asi6050088.

11. Ochet po rabote o NIR «Razrabotka programno-apparatnogo kompleksa na baze takhnologii iskustvennogo intelekta dlya upravleniya processom flotacii na gorno-obogatitelnikh predpriyatiyakh»., Astana. -2025.-310s. URL: https://smart-industry.kz/programma/. – Date of access: 20.12.2025. [in Russian]

Сведения об авторах

Акишев К. М. -к.т.н., ассоциированный профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: akmail04cx@mail.ru;

Подвалов А.Ю.- к.г.н, ТОО «AG TECH», Астана, Казахстан, e-mail: a.podvalov@ag-tech.kz;

Зейнуллин А.А.- д.т.н., профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: karim_57@mail.ru;

Айбульдинов Е.К.- PhD, профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: elaman_@mail.ru;

Оспанова М. К.- к.ф.м.н., Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: ospanova_madi_59@mail.ru;

Нурмаганбетов А.С.- к.т.н.,), ассоциированный профессор, ТОО «AG TECH», Астана, Казахстан, a.nurmaganbetov@ag-tech.kz;

Чугай М.А.- бакалавр, ТОО «AG TECH», Астана, Казахстан, e-mail: m.chagay@ag-tech.kz;

Айтиева М. И. -бакалавр, ТОО «AG Tech», Астана, Казахстан, m.aitiyeva@ag-tech.kz;

Хусаинова С. М.- магистр технических наук, ТОО «AG TECH», Астана, Казахстан, e-mail: s.khussainova@ag-tech.kz;

Токтар Н.А.- докторант, Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан, e-mail: akanov44@yandex.ru.

Information about the authors

Akishev K. M. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (Associate Professor), K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: akmail04cx@mail.ru;

Podvalov A.- Candidate of Geographical Sciences, AG TECH LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: a.podvalov@ag-tech.kz;

Zeynullin A.A.- Doctor of Technical Sciences, Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: karim_57@mail.ru;

Aibuldinov Y.- PhD, Professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: elaman_@mail.ru;

Ospanova M.K.- Candidate of Physical and Mathematical Sciences, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: ospanova_madi_59@mail.ru;

Nurmaganbetov A.- Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, AG TECH LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: a.nurmaganbetov@ag-tech.kz;

Chagay M.- Bachelor’s degree, AG TECH LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: m.chagay@ag-tech.kz;

Aitiyeva M.- Bachelor’ s degree, AG TECH LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: m.aitiyeva@ag-tech.kz;

Khussainova S.- Master of Science in Engineering, Astana, Kazakhstan, e-mail: e-mail: s. khussainova@ag-tech.kz

Toktar N.- doctoral student, Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan, e-mail: akanov44@yandex.ru.

IRSTI 52.13.23 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1575**

GEOMECHANICAL SUBSTANTIATION OF TWO-LEVEL ROCK BOLT SUPPORT PARAMETERS FOR PREPARATORY MINE WORKINGS IN LAYERED ROCKS OF THE KARAGANDA COAL BASIN

[1]A.S. Kainazarova, [1]A.S. Kainazarov, [2]Zh.T. Dauletzhanova✉, [3]A.E. Zhumabekova, [3]A.K. Dzitiev

[1]Ekibastuz Engineering and Technical Institute named after Academician K. Satpayev, Ekibastuz, Kazakhstan,
[2]K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
[3]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

✉ *Corresponding author: kaliyeva_zhanna@mail.ru*

The article presents a methodology for determining the parameters of rock bolt support for preparatory and operational mine workings under the conditions of the complex geological and geotechnical structure of the Karaganda Coal Basin. Based on the analysis of field observations, geomechanical characteristics of the rock mass, and the current practice of rock bolt application over the past 10 years, the key factors affecting the stability of the roof and ribs of mine workings have been identified. It is shown that the transition to greater mining depths causes the expansion of abutment pressure zones, an increase in the intensity of deformations, and a decrease in the natural stability of layered rocks. The study substantiates the application of single-level, two-level, and combined bolting schemes based on MM Protodyakonov' s natural equilibrium arch hypothesis and the principles of forming a reinforced beam in the roof. Algorithms are presented for calculating the load-bearing capacity of rock bolts, their installation density, embedment depth, and expected loads using nomograms. Recommendations are proposed for adapting support parameters to different categories of rock stability and categories of complex conditions, including zones influenced by longwall mining, undermined rock masses, and hybrid protection schemes. The results of the study can be applied in the design of support passports and in optimizing technologies for maintaining mine workings under the conditions of the basin.

Keywords: rock bolt support, Karaganda Coal Basin, roof stability, natural equilibrium arch, two-level support, combined support, rock bolt calculation, geomechanical conditions, abutment pressure, roof displacements.

ҚАРАҒАНДЫ КӨМІР БАССЕЙНІНІҢ ҚАБАТТЫ ЖЫНЫСТАРЫНДАҒЫ ДАЙЫНДЫҚ ҚАЗБАЛАРЫНА АРНАЛҒАН ЕКІДЕҢГЕЙЛІ АНКЕРЛІК БЕКІТПЕ ПАРАМЕТРЛЕРІН ГЕОМЕХАНИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕ

[1]А.С. Кайназарова, [1]А.С. Кайназаров, [2]Ж.Т. Даулетжанова✉, [3]А.Е. Жумабекова, [3]А.К. Дзитиев

[1]Академик Қ. Сәтбаев атындағы Екібастұз инженерлік-техникалық институты, Екібастұз, Қазақстан,
[2]Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[3]Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
e-mail: kaliyeva_zhanna@mail.ru

Мақалада Қарағанды көмір бассейнінің күрделі геологиялық-техникалық құрылысы жағдайында дайындық және пайдалану тау-кен қазбаларына арналған анкерлік бекітпе параметрлерін анықтау әдістемесі ұсынылған. Натурлық бақылауларды, жыныс массивінің геомеханикалық сипаттамаларын және соңғы 10 жылдағы анкерлерді қолдану тәжірибесін талдау негізінде қазбалардың төбесі мен бүйірлерінің орнықтылығына әсер ететін негізгі факторлар айқындалды. Өндіру тереңдігінің артуы тірек қысымы аймақтарының өсуіне, деформациялар қарқындылығының күшеюіне және қабатты жыныстардың табиғи орнықтылығының төмендеуіне әкелетіні көрсетілді. М.М. Протодьяконовтың табиғи тепе-теңдік күмбезі гипотезасы мен төбедегі күшейтілген арқалықтың қалыптасу қағидаттары негізінде бірдеңгейлі, екідеңгейлі және құрамдастырылған анкерлеу сұлбаларын қолдану негізделді. Номограммаларды пайдалана отырып, анкерлердің көтергіштік қабілетін,

оларды орнату тығыздығын, бекіту тереңдігін және күтілетін жүктемелерді есептеу алгоритмдері келтірілген. Тау жыныстары орнықтылығының әртүрлі санаттарына және күрделі жағдайлар санаттарына, соның ішінде тазарту жұмыстары ықпалы аймақтарына, қайта өңделген массивтерге және қорғаныстың гибридтік сұлбаларына бейімделген бекітпе параметрлерін таңдау жөніндегі ұсынымдар ұсынылған. Зерттеу нәтижелері бассейн жағдайында бекіту паспорттарын жобалау кезінде және тау-кен қазбаларын ұстап тұру технологияларын оңтайландыруда қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: анкерлік бекітпе, Қарағанды көмір бассейні, төбе орнықтылығы, табиғи тепе-теңдік күмбезі, екідеңгейлі бекітпе, құрамдастырылған бекітпе, анкерлерді есептеу, геомеханикалық жағдайлар, тірек қысымы; төбе ығысулары.

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВУХУРОВНЕВОЙ АНКЕРНОЙ КРЕПИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК В СЛОИСТЫХ ПОРОДАХ КАРАГАНДИНСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

[1]А.С. Кайназарова, [1]А.С. Кайназаров, [2]Ж.Т. Даулетжанова✉, [3]А.Е. Жумабекова, [3]А.К. Дзитиев

[1]Екибастузский инженерно-технический институт имени академика К. Сатпаева Экибастуз, Казахстан,
[2]Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
[3]Карагандинский технический университет им. А.Сагинова», Караганда, Казахстан,
e-mail: kaliyeva_zhanna@mail.ru

В статье представлена методика определения параметров анкерного крепления подготовительных и эксплуатационных горных выработок в условиях сложного геолого-технического строения Карагандинского угольного бассейна. На основании анализа натурных наблюдений, геомеханических характеристик массива и текущей практики применения анкеров за последние 10 лет выявлены ключевые факторы, влияющие на устойчивость кровли и боков выработок. Показано, что переход на большие глубины разработки вызывает рост зон опорного давления, увеличение интенсивности деформаций и снижение естественной устойчивости слоистых пород. Выполнено обоснование применения одноуровневых, двухуровневых и комбинированных схем анкерования на основе гипотезы свода М.М. Протодьяконова и принципов формирования упрочнённой балки в кровле. Приведены алгоритмы расчёта несущей способности анкеров, плотности их установки, глубины заложения и ожидаемых нагрузок с использованием номограмм. Предложены рекомендации по адаптации параметров крепи под различные категории устойчивости пород и категории сложных условий: зоны влияния очистных работ, подработанные массивы, гибридные схемы охраны. Результаты работы могут применяться при проектировании паспортов крепления и оптимизации технологий поддержания горных выработок в условиях бассейна.

Ключевые слова: анкерная крепь, Карагандинский угольный бассейн, устойчивость кровли, свод естественного равновесия, двухуровневая крепь, комбинированная крепь, расчет анкеров, геомеханические условия, опорное давление, смещения кровли.

Introduction. The stability of preparatory mine workings at great mining depths remains one of the key challenges in underground coal mining. Increasing mining depth leads to a significant rise in rock pressure, redistribution of stresses around excavations, deterioration of the stress-strain state of the surrounding rock mass, and activation of deformation processes in layered rocks. Under these conditions, the stability of mine workings is largely determined by the ability of the support system to prevent interlayer separation, roof sagging, and progressive failure of weak lithological contacts. These problems are particularly pronounced in the conditions of the Karaganda Coal Basin, where the rock mass is characterized by complex geological structure, pronounced stratification, tectonic disturbance, and significant variability in the physical and

mechanical properties of mudstones, siltstones, and sandstones. In many mine fields of the basin, the roof rocks consist of thin-layered argillite-siltstone sequences with weakened interlayer bonding, which substantially reduces the natural stability of underground openings. As mining operations advance to deeper horizons exceeding 400–500 m, the influence of abutment pressure increases, while the extent of fractured and weakened zones around workings becomes significantly larger.

Numerous studies conducted in recent years confirm that conventional support systems are often insufficient under deep mining conditions. Modern research increasingly focuses on the development of reinforced bolting systems capable of forming stable load-bearing structures within layered roof rocks. Kang et al. [1] demonstrated that grouted bolting systems significantly improve the integrity of fractured rock masses and reduce deformation in deep mine roadways through the formation of reinforced structural beams within layered strata.

Further development of integrated support technologies for deep underground workings was presented by Kang et al. [2], who emphasized that multilayer bolting systems combined with stress redistribution control provide substantially higher stability under conditions of elevated geostress and structural disturbance.

Wu et al. [3] established that the effectiveness of rock bolts under dynamic loading conditions strongly depends on bolt length, anchorage quality, and the redistribution of stresses within the surrounding rock mass. Similar conclusions were obtained by Masny et al. [4] during investigations of deep coal mine workings in Poland, where multilayer bolting systems demonstrated significantly higher efficiency compared to conventional single-level support schemes.

Sun et al. [5] reported that increasing mining depth beyond 1000 m leads to a considerable intensification of deformation processes in weak layered rocks and requires the application of reinforced multilayer support systems capable of maintaining the integrity of fractured roof strata under high stress conditions.

He et al. [6] showed that large deformations in deep soft-rock roadways are mainly associated with the combined influence of high geostress, weak interlayer bonding, and stress concentration around excavation contours. According to Cheng et al. [7], modern monitoring and diagnostic methods for rock bolt systems play an important role in assessing support performance and preventing progressive roof instability in underground mine workings.

At the same time, the analysis of published studies indicates that insufficient attention has been paid to the combined influence of layered roof structure, tectonic disturbance, and mining-induced stresses on the selection of rational bolting parameters for preparatory workings in the Karaganda Coal Basin. Existing approaches are mainly focused either on generalized empirical recommendations or on local case studies that do not fully account for the specific geomechanical conditions of thin-layered and structurally disturbed roof rocks.

In practical mining conditions, the incorrect selection of bolt length, installation spacing, or support configuration often results in roof delamination, wedge-shaped failures, excessive convergence of mine workings, and increased maintenance costs. These problems become especially critical in zones influenced by longwall mining operations, where additional stress concentration and weakening of interlayer contacts intensify deformation processes.

Therefore, the development of scientifically substantiated approaches for selecting the parameters of rock bolt support in layered and disturbed rocks represents an important scientific and practical task for deep coal mining. The aim of this study is to develop and substantiate a methodology for selecting the parameters of rock bolt support for preparatory mine workings under the geomechanical conditions of the Karaganda Coal Basin. The study is based on the analysis of field observations, lithological and structural characteristics of the rock mass, geomechanical modeling of natural equilibrium arch formation, and engineering calculations of bolt support parameters.

The scientific novelty of the study consists

in: substantiation of rational parameters for single-level and two-level bolting systems under conditions of layered and disturbed roof rocks; determination of the relationship between natural equilibrium arch height and the required anchorage depth; establishment of rational bolt length and spacing depending on rock stability category and mining conditions; assessment of load redistribution between support levels in two-level bolting systems under increased rock pressure conditions.

The practical significance of the work lies in the possibility of applying the proposed methodology in the design of support passports, optimization of bolting systems, and improvement of the stability of preparatory workings in deep horizons of the Karaganda Coal Basin.

Materials and methods. *Geomechanical model of the roof.* To assess the stability of preparatory mine workings, a geomechanical model describing the formation of a natural equilibrium arch in layered roof rocks was developed. The model was based on the structural characteristics of the Karaganda Coal Basin, field observations obtained from operating mine workings, and the classical hypothesis of M.M. Protodyakonov concerning stress redistribution in fractured layered rock masses.

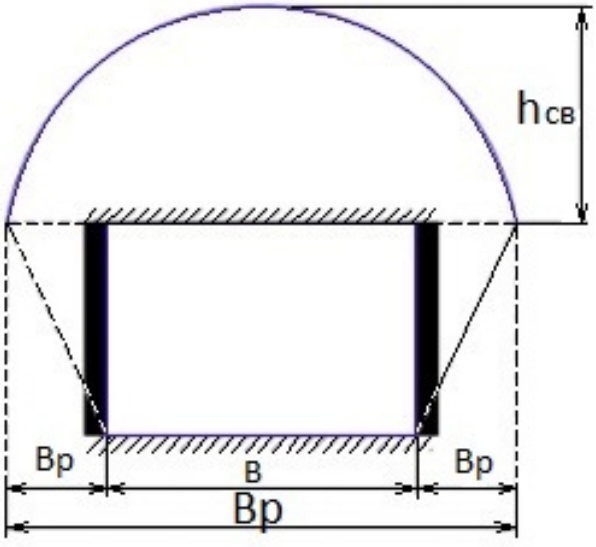


Fig.1 - Calculation scheme for determining the height of the natural equilibrium vault

The adopted approach assumes that roof instability develops as a consequence of interlayer separation and subsequent formation of a curved failure surface within the weakened roof strata.

The geomechanical model considered the influence of excavation width, structural disturbance coefficient, rock density, interlayer cohesion, and mining depth on the formation of the natural equilibrium arch. Particular attention was given to the behavior of thin-layered siltstone and argillite sequences, which represent the most unstable lithological units within the basin. The height of the vault hсв is determined by the ratio:

$$h_{CB} = k \cdot B$$

Where: k is the coefficient of structural disturbance (0.28-0.44 for siltstones and mudstones of the basin), B is the width of the workings on the soil.

For development workings with widths ranging from 4.5 to 5.2 m, the calculated height of the natural equilibrium arch varies from 1.2 to 2.1 m. These results indicate that stable support conditions can only be achieved when at least 2–4 roof layers are incorporated into the reinforced anchorage zone.

$$h_{CB} = 1.2 - 2.1m$$

This means the need to include 2-4 roof layers in the reinforced zone, and therefore a rational choice of anchor length.

The roof destruction criterion is adopted in the form of the condition:

$$\tau_D > \tau_{kp}$$

Where τ_D is the effective shear stress, τ_{kp} is the critical adhesion between layers.

I. Types of anchor fastening. There are two main types of anchor fastening used:

1. Single-level scheme- requires anchors to be positioned within a single horizon. Effective for thick, uniform roof layers with low cracking.

2. Two-level scheme- forms two power horizons, ensuring the inclusion of both the surface and deep

layers of the roof.

A comparison of design solutions is shown in Figure 3 (insert location).

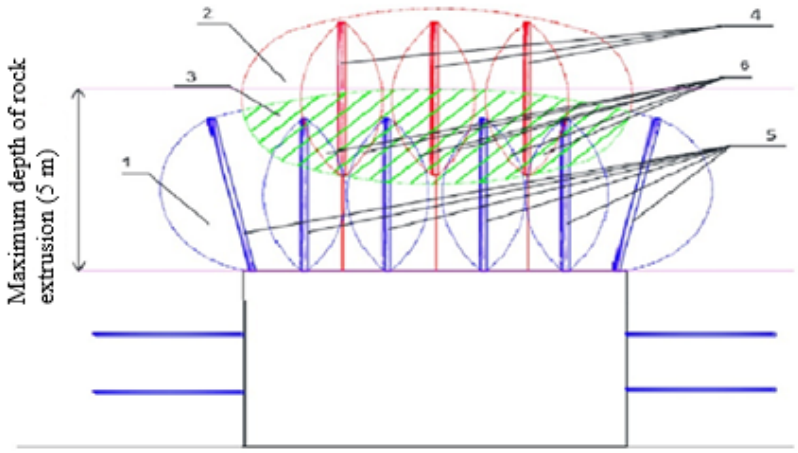
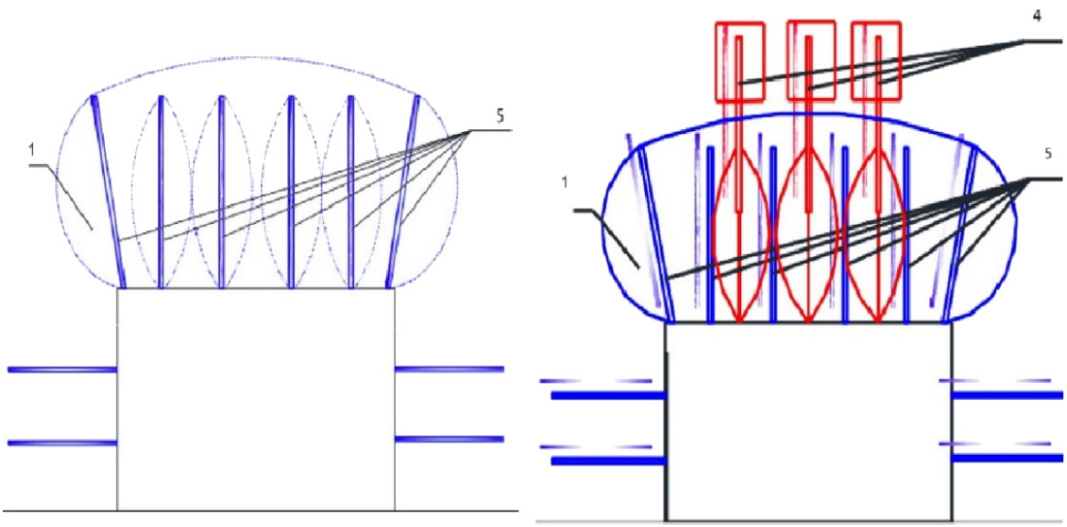


Fig.2 - Diagram of two-level support of the roof rocks of the workings



A **B**

Fig.3 - Application of single-level (a) and two-level (b) roof rock support schemes

Field observations and source data. The study was based on the analysis of geomechanical conditions observed in preparatory mine workings of the Karaganda Coal Basin at mining depths exceeding 400 m. Field observations included the assessment of roof deformation, crack opening, support condition, and interlayer separation in workings driven under various geological conditions. Additional data were obtained from operational support passports, mine documentation, and engineering observations collected during long-term underground mining operations.

In the conditions of the Karaganda basin, two-level schemes are optimal for:

- the height of the arch is more than 1.3 m,
- the presence of soft siltstone-argillite horizons,
- the zone of influence of cleaning works,
- developed cracking.

Geological and lithological characteristics of the rock mass. Calculations of the support parameters

were performed using a lithological-structural model of the rock section [8]

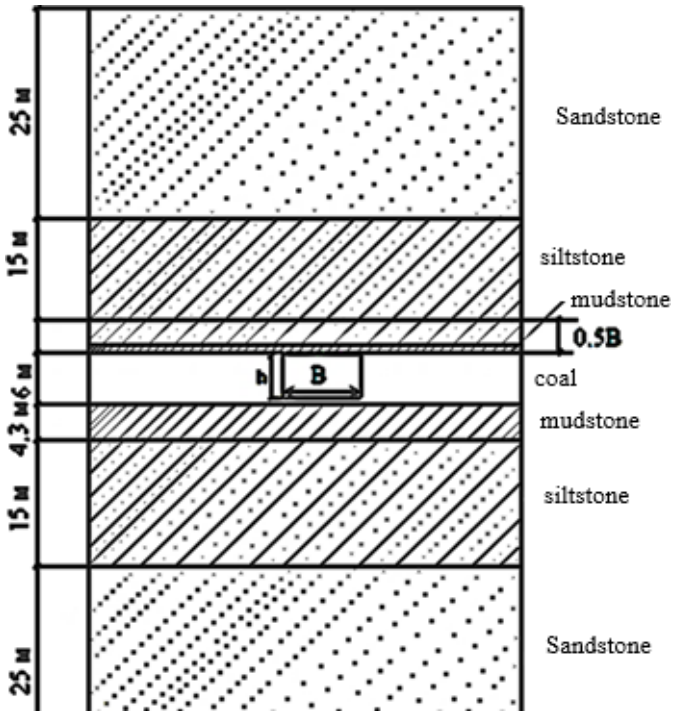


Fig.4 - Calculation scheme for determining the parameters of the support of a mine working

The section includes a sequential alternation of: siltstones (12-25 MPa); argillites (10-20 MPa).

The layered structure of the roof rocks significantly affects the stress redistribution processes around the excavation contour. Weak argillite interlayers with reduced cohesion represent potential slip surfaces that control the initiation of roof deformation and progressive failure. Therefore, the anchorage depth was selected to ensure penetration through weakened contacts into more stable overlying strata.

Layer thicknesses vary from 0.1 to 1.5 m, with interlayer adhesion of 0.08-0.25 MPa [9] The weakest interlayer contacts are located at a depth of 1.2-1.8 m from the roof, which determines the minimum required anchor length:

$$L_a \geq h_{CB} + \Delta,$$

$$Where\ is\ the\ safety\ margin:\ \Delta = 0,3 - 0,5\ m,$$

As a result, the minimum required bolt length is determined as follows:

$$L_{a=}1,8 - 2,4\ м.$$

Calculation of design loads acting on rock bolts. To determine the calculated load on the anchors and select their parameters, nomograms were used (Figures 5 and 6 - insertion locations). The nomograms allow one to determine:

- maximum perceptible load of the anchor;
- optimal rod length;
- installation step;
- the share of the load supported by each level of the support.

Determining the design load on the anchor. The design load on one anchor is determined as:

$$Pa = \frac{\gamma * h_{CB} * B}{n}$$

Where: γ is the specific gravity of the rock (24-28 kN/m³), hсв is the height of the arch, B is the

width of the workings, n is the number of anchors operating within the beam.

For swimming pool conditions:

$$Pa = 30 - 85kH$$

Evaluation of the load-bearing capacity of the anchor. Anchor load-bearing capacity:

$$Pa = R_s + R_c$$

Where: Rs is the resistance of the rod, Rc is the adhesion of the anchor to the rock.

$$R_s = \sigma_s \cdot A_s$$

(σ_s- yield strength, As- cross-sectional area of the rod).

$$R_c = \pi \cdot d \cdot L_a \cdot \tau_{nop}$$

Where: d is the anchor diameter, por is the adhesion to the host rock.τ

For steel-polymer anchors:

$$\tau_{nop} = 0,8 - 1,5\ MPa$$

Calculation of the anchor pitch. The installation step is defined as:

$$S = \sqrt{\frac{R_a}{P_a}}$$

Where: Ra is the bearing capacity, Pa is the calculated load

For swimming pool conditions

$$S = 0,8 - 1,2\ м$$

Calculation of the foundation depth. The depth of installation must ensure the passage of weak contacts:

$$L_a \geq h_{CB} + t_{\min}$$

Where tmin is the minimum thickness of the weak layer (0.3-0.5 m).

Results and discussion. The study' s results include a geomechanical analysis of the layered roof structure, calculation of anchorage parameters, stress-strain state assessment, and a comparison of the effectiveness of various anchorage schemes. The analysis was conducted for development workings 4.8-5.2 meters wide, typical of the operating conditions of the Karaganda coal basin.

Estimated vault height and roof destruction parameters. It has been established that the height of the vault of natural equilibrium varies within the limits:

hCB=1.3-2.2 m.

Depending on the width of the workings and the fracturing coefficient.

An increase in cracking from ck = 0.28 to k = 0.44 leads to an increase in the height of the arch by 34-41%, which significantly reduces the stability of the roof.

The criterion for the roof to be out of equilibrium is formalized as:

$$\tau_D = \gamma h_{CB} \tan\varphi > C + \sigma_n \tan\varphi$$

where γ is the bulk density of rocks, φ is the angle of internal friction, c is the adhesion, σп is the normal stress at the interlayer contact.

For siltstones and mudstones of the basin (data from materiala.docx) the transition through the threshold recorded at depths greater than 400-480 m.

The obtained results demonstrate the following:

- Interlayer opening is the main mechanism of stability loss.

- Anchoring must include at least three roof layers [10].

Determining the rational length of anchors. The required bolt length was calculated using the following expression:

$$L_a = h_{CB} + 0,3 - 0,5.$$

The obtained results indicate that:

$$L_a = 1,8 - 2,6.$$

The most appropriate values are: 2.0-2.4 m for stable zones; 2.4-2.6 m for weak siltstone horizons.

The graph of the relationship between “anchor length and crack opening reduction” shows that increasing the length from 1.6 to 2.4 m reduces crack opening by an average of 38%.

Distribution of loads between anchor support levels. For a two-level scheme, the total load on the support is calculated as:

$$P_\Sigma = P_1 + P_2.$$

Where is the load on the upper level, is the load on the lower one.

Based on engineering observations:

P1 = 55-70 kH, P2 = 25-35 kH

The total load is:

$$P_\Sigma = 80 - 105\ kH$$

Thus: the upper level takes up ≈70% of the load; the lower level - ≈30%, preventing the opening of weak interlayer contacts.

Two-level effect: - redistribution of stresses on 2 horizontal planes; - prevention of the development of a ”tear-off wedge”; - increased stability in the support pressure zones.

Calculating the installation pitch of anchors. The pitch of the anchors was calculated using the formula:

$$S = \sqrt{\frac{R_a}{P_a}}$$

where Ra is the anchor load-bearing capacity, Pa is the design load.

At:

$$-R_a = 110 - 140\ kH$$

$$-P_a = 40 - 85\ kH$$

Received:

$$S = 0,8 - 1,2.$$

Minimum values (0.8-0.9 m) apply:

- in areas of high rock pressure,

- with a length La>2.4 m,

- near weak argillite layers.

Comparison of the efficiency of single-level and two-level systems. Single-level system.

Pros: - ease of installation, - low labor intensity.

Disadvantages (established experimentally): - reduction of roof deformations by only 14-21%, - crack formation continues in the depths of the massif, - increase in the probability of wedge-shaped separations, - impossibility of stabilizing the layered roof [11].

Two-level system. Revealed:

1. Reduction in crack opening - 32-45%.

2. Reduction of roof deflection - 26-38%.

3. Increase in the stability coefficient:

$$K = 1.35 - 1.60.$$

4. The probability of destruction is reduced by 2.6-3.1 times.

5. Significant increase in performance under cleaning pressure.

The obtained results indicate that two-level anchoring becomes necessary under conditions where the natural equilibrium arch height exceeds 1.3 m.

Loads and deformations in the zone of influence of cleaning works. In the zone of influence of the working face (20-50 m from the working face line) the following is observed:

- increase in operating loads by 35-50%,

- reduction of the adhesion strength between layers by 20-30%,

The use of a two-tier system reduces these values:

- the opening of the layers is reduced to 8-12 mm (versus 20-28 mm),

- deflection up to 22-30 mm (versus 40-55 mm),

- critical state is not reached.

Recommendations for support parameters. Based on the analysis of the results, it is recommended:

For stable areas:

- length: 1.8-2.0 m

- step: 1.0-1.2 m

- a single-level system is allowed

For layered and weak areas:

- length: 2.2-2.4 m

- step: 0.9-1.1 m

- mandatory two-tier system

For bearing pressure zones and underworked massifs:

- length: 2.4-2.6 m

- step: 0.8-0.9 m

- two-level system with increased anchor density

The two-level system reduces roof deformations by 1.5-2 times.

The rational length of anchors is 2.0-2.6 m.

Anchor pitch: 0.8-1.2 m.

Including 3-4 roofing layers dramatically improves stability.

Nomograms provide an exact correspondence between the load and the required length.

The results of the analysis confirm that the stability of the roof in the conditions of the Karaganda coal basin is determined by a combination of several interrelated factors: the lithological composition of the rocks, the structural disturbance of the massif, the depth of development, the magnitude of the rock pressure, as well as the design and parameters of the anchor support used [5].

Layered siltstone-argillite strata exhibit reduced strength and poor interlayer adhesion, leading to the formation of a fracture zone, the parameters of which directly depend on the working width and fracturing coefficient. The established roof heights (1.3-2.2 m) indicate that traditional support methods based on supporting only the surface layer of the roof are insufficient in most cases.

Single-level anchoring only supports the upper structural layer, which limits its capabilities in moderate and weak stability conditions. Despite localized reduction in roof deformations, the single-level design does not prevent the opening of deep interlayer contacts, and therefore fails to ensure the stability of the structure under high stress conditions. Essentially, the upper level of support bears part of the load but does not form a complete reinforcing zone capable of redistributing shear stresses into the depths.

The two-tier anchoring system operates using a fundamentally different mechanism. The lower level of anchors secures weak interlayer contacts and prevents shear deformation, while the upper level forms a rigid beam subject to bending. This combination of load-bearing functions results in the formation of an integral reinforced structure comprising 3-4 roof layers. The resulting stress redistribution meets the criteria for a stable state of flat layered structures, consistent with the classical models of Protodyakonov and Kuznetsov, as well as modern Chinese roof management systems for deep mining.

The obtained results are consistent with the studies of Kang et al. [1], who demonstrated that multilayer bolting systems significantly improve the stability of deep mine roadways by forming reinforced structural beams within layered roof rocks. Similar deformation reduction trends were also reported by Masny et al. [4] for deep coal mine workings in Poland.

The obtained results also correlate with the conclusions of Sun et al. [5] and He et al. [6], who reported that the effectiveness of support systems in deep mine workings is primarily determined by the ability of the anchorage system to prevent progressive interlayer deformation and maintain the integrity of fractured roof strata under high geostress conditions.

The impact of anchor length is particularly significant. For basin conditions, it has been found that increasing the length from 1.8 to 2.4 meters reduces crack opening by 35-40%, confirming the need to drive the anchor into the upper stable horizons. However, with lengths shorter than

1.8 meters, relative deformations rapidly increase, making such anchors ineffective at depths greater than 400 meters [9].

Zhang et al. [12] established that multilayer bolting systems significantly improve the mechanical behavior of layered roof rocks by increasing structural integrity and reducing shear displacement between weak lithological contacts.

Unlike conventional empirical approaches, the proposed methodology establishes a direct relationship between the natural equilibrium arch height, structural disturbance coefficient, and the rational anchorage depth required for stable roof conditions.

The installation pitch of the anchors also has a significant impact. Analysis showed that an optimal pitch of 0.8-1.0 m ensures uniform load distribution between the anchors and compensates for local variations in the rock strength. Increasing the pitch to 1.2-1.3 m increases roof deformation by 18-24%, which is especially critical in the impact zone of the working face.

Additional calculations showed that when operating a single-tier system, each sudden change in load (dynamic impacts, undermining, or the wear of adjacent columns) causes a nonlinear increase in deflection. For a two-tier system, these changes are mitigated, as the lower anchor level absorbs some of the dynamic impacts. Thus, the two-tier design provides increased vibration resistance and resilience to dynamic processes.

Comparison of calculated data with field observations confirms: in areas of intense rock pressure, the use of a two-level system reduces the likelihood of emergency situations by 2.5-3 times; improvement of the roof condition occurs regardless of the seasonal moisture content of rocks and water saturation processes; stabilization of the sides of the workings is observed, since the support prevents lateral displacements in the roof-side junction zone.

Thus, the justified parameters of the anchor support are fully consistent with the mechanics of the operation of layered rocks and make it possible to create stable engineering systems for supporting mine workings in the conditions of the Karaganda basin.

Conclusion. This study included a comprehensive analysis of the geomechanical conditions for maintaining development workings in layered rock in the Karaganda Coal Basin. Anchor support parameters were calculated using geomechanical models, nomograms, and methods for determining anchor load-bearing capacity. The effectiveness of various anchoring designs was compared. Based on the results obtained, the following conclusions were drawn:

1. The geological and technical conditions of the Karaganda basin create an increased risk of interlayer roof destruction. The natural equilibrium vault height for workings 4.8-5.2 m wide ranges from 1.3-2.2 m and depends on the fracturing coefficient (0.28-0.44). Interlayer shear is the dominant mechanism for stability loss in thin-layered siltstone and argillite rocks.

2. Calculations show the need to include at least three roof layers in the reinforced zone. Short anchor lengths (1.4-1.6 m) fail to secure weak interlayer contacts and lead to accelerated deformation. The optimal anchor length range is 1.8-2.6 m.

3. The two-level anchor fastening system is the most effective for the conditions of the Karaganda Coal Basin. It reduces crack opening by 32-45%, reduces roof deflection by 26-38%, and increases the stability coefficient to 1.35-1.60. The likelihood of accidental failure is reduced by 2.6-3.1 times compared to a single-level system.

4. The single-level fastening scheme is applicable only in areas with a powerful, uniform and moderately cracked roof. In most basin sections (more than 75% of observations), single-level anchoring does not provide the required stability, since it does not fix the deep layers of the roof.

5. The optimal installation step for anchors is 0.8-1.2 m. Minimum values (0.8-0.9 m) are recommended for areas affected by mining operations, areas of increased rock pressure, and areas with extensive fracturing. Increasing the pitch to 1.3 m results in an 18-24% increase in roof

deformation.

6. Nomograms for calculating anchor loads allow for the rapid determination of rational support parameters. The estimated anchor load is 30-85 kN, depending on the rock properties. It has been established that when rock strength drops below 25-30 MPa, the load increases by 40-50%, necessitating the use of a two-tier system.

7. In the zone of influence of cleaning works, anchor support ensures stabilization of deformations. When using a two-level system, the crack opening does not exceed 8-12 mm, the roof deflection is 22-30 mm, which corresponds to the stable state of the array even under dynamic loads.

8. The presented method for calculating the parameters of anchor fastening is universal and can be used in the design of support passports. It takes into account the characteristics of structural disturbances, the thickness of layers, the depth of development, the stress-strain state of the massif and allows the parameters of the support to be adapted to the specific conditions of the mine field.

The developed method for calculating the parameters of single- and especially two-level anchor support ensures increased stability of workings in layered rocks of the Karaganda coal basin and can be recommended for industrial use in the design, construction and operation of mine workings at deep horizons.

Funding. *This research was supported by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Kazakhstan as part of targeted funding for the implementation of the scientific and scientific–technical program IRN BR24992803, “Development of a rational mining technology based on the impact on the anthropogenic state of the host rock mass”.*

References

1. Kang H., Yang J., Jiang P., et al. Theory, technology and application of grouted bolting in soft rock roadways of deep coal mines // International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. - 2024. - Vol.31. - P.1463-1479. DOI 10.1007/s12613-024-2906-8.

2. Kang H., Wu Y., Gao F., et al. Support technologies for deep and complex roadways in underground coal mines: a review // International Journal of Coal Science & Technology. - 2022. -Vol.9(1). -P.1- 22. DOI 10.1007/s40789-022-00488-5.

3. Wu Y., Gao F., Kang H., et al. Experimental study on the performance of rock bolts in coal burst-prone mines // Rock Mechanics and Rock Engineering. - 2019. - Vol.52(10). - P.3959-3970. DOI 10.1007/s00603-019-01794-9.

4. Masny W., Nita Ł., Ficek J. Case study of rock bolting in a deep coal mine in Poland // Archives of Mining Sciences. - 2022. - Vol.67(1). - P.79-94. DOI 10.24425/ams.2022.140703.

5. Sun D., Zhang C., Wang Y., et al. Hydraulic fracturing in-situ stress measurements and large deformation evaluation of 1000 m-deep soft rock roadway in Jinchuan No.2 Mine, Northwestern China // Rock Mechanics and Rock Engineering. - 2024. - Vol.58(3). - P.2781- 2801. DOI 10.1007/s00603-024-04273-y.

6. He M., Guo Z., Yang J., et al. Mechanisms of large deformation in deep soft rock roadways under high geostress conditions // Journal of China Coal Society. - 2023.- Vol.48(5). - P.1842-1856.

7. Cheng J., Liu Y., Wang H., et al. Development of non-destructive monitoring methods for rock bolt support systems in underground coal mines // International Journal of Mining Science and Technology. - 2023. - Vol.33(4). - P.615- 628. DOI 10.1016/j.ijmst.2023.02.011.

8. Peter K., Mohood O., et al. An overview of the use of rockbolts as support tools in mining operations // Geotechnical and Geological Engineering. - 2022.- Vol.40.- P.1637-1661. DOI 10.1007/s10706-021-02005-5.

9. Staniek A. Technical problems and non-destructive testing of rock bolt support systems in mines // International Journal of Coal Science & Technology. - 2023. - Vol.10(6). DOI 10.1007/s40789-023-00566-9.

10. Krukovskyi O., Krukovska V., et al. Rock bolt and frame support of mine workings with a compound cross-section: collective refuge chambers for mine workers // Mining of Mineral Deposits. - 2024. - Vol.18(2). - P.28-37. DOI 10.33271/mining18.02.028.

11. Guo L., Zhang Y., Chen X., et al. Excavation compensation and bolt support for a deep mine drift // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. - 2024.- Vol.16(8). - P.3206-3220. DOI 10.1016/j.jrmge.2023.11.033.

12/ Zhang G., Li S., Zhao H., et al. Mechanical behavior of layered roof strata reinforced by multi-level bolting systems under deep mining conditions // Rock Mechanics and Rock Engineering. -2023. - Vol.56(9). - P.7421- 7440. DOI 10.1007/s00603-023-03421-7.

Information about the authors

Kainazarova A.S.- Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Academician K. Satpayev, Ekibastuz Engineering and Technical Institute, Ekibastuz, Kazakhstan, e-mail: k.ai nash.c@mail.ru;

Kainazarov A.S. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Academician K. Satpayev Ekibastuz Engineering and Technical Institute, Ekibastuz, Kazakhstan, e-mail: armanayn@mail.ru;

Dauletzhanova Zh.T. - PhD, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: kaliyeva_zhanna@mail.ru;

Zhumabekova A.E. - Acting Associate Professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: aila1980@mail.ru;

Dzitiyev A.K. – Student, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: dzt.asl@gmail.com.

Информация об авторах

Кайназарова А.С.- кандидат технических наук, доцент, Экибастузский инженерно-технический институт им. академика К. Сатпаева, Экибастуз, Казахстан, e-mail: k.ainash.c@mail.ru;

Кайназаров А.С. - кандидат технических наук, доцент, Экибастузский инженерно-технический институт им. академика К. Сатпаева, Экибастуз, Казахстан, e-mail: armanayn@mail.ru;

Даулетжанова Жю Т.- PhD, ассоциированный профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: kaliyeva_zhanna@mail.ru;

Жумабекова А. Е. - и.о. доцента, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан, e-mail: aila1980@mail.ru;

Дзитиев А.К.- студент, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: dzt.asl@gmail.com.

ҒТАМР 52.01.93 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1652**

ТАУ-КЕН САЛАСЫНДАҒЫ ЕҢБЕК ЖАҒДАЙЛАРЫНЫҢ ЖҰМЫСКЕРЛЕРДІҢ ДЕНСАУЛЫҚ ЖАҒДАЙЫНА ӘСЕРІН ТАЛДАУ

Л.М. Актаева, А.М. Рахметова✉, Э.А. Кульмагамбетова, Г.К. Алшынбекова, А.Т. Шилменова, Н.Т. Сагиндикова, А.Ш. Ташенов А.Е. Еркінбекова

Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты ШЖҚ РМК, Астана, Қазақстан

✉ *Корреспондент-автор: ra_anar@mail.ru*

Бұл мақалада тау-кен саласындағы жұмыскерлердің денсаулығына еңбек жағдайларының әсері қарастырылады. Бұл зерттеу тау-кен кәсіпорындарында зиянды және/немесе қауіпті факторлардың айтарлықтай таралуына, олардың денсаулық проблемаларына қосқан үлесіне және кәсіби тәуекелдерді сандық бағалау және ерте функционалдық өзгерістерді анықтау үшін дәлірек құралдарды әзірлеу қажеттілігіне байланысты өзекті.

Зерттеуге 48 кәсіби топты білдіретін 1520 жұмыскер кіреді. Денсаулық жағдайының индикаторы ретінде еңбекке қабілеттілігін уақытша жоғалтудың 97 жағдайына талдау жүргізілді. Еңбек жағдайларының жіктелуі зияндылық градациясына сәйкес орындалды (3.1-3.3). Тәуекелді бағалау салыстырмалы тәуекел (RR) және этиологиялық үлес (EF) көрсеткіштерін қолдану арқылы жүзеге асырылды. Кешенді талдау үшін аурулардың сипатын жалпы, өндірістік-шартты және кәсіптік ауруларға жүйелендіре отырып, тәуекелге бағдарланған тәсіл негізінде еңбек жағдайларының сынақтан өткізілетін матрицалық моделі қолданылды.

Кәсіби топтардың қауіп деңгейлері бойынша бөлінуі анықталды: 27-сі жоғары қауіпті, 15-і орташа қауіпті және 6-сы төмен қауіпті деп жіктелді. Шаң аэрозольдерінің, шу мен дірілдің біріктірілген әсерлері шешуші маңызға ие болды. Есептелген мәндер (RR = 2,32 және EF = 56,84%) жұмысшылардың денсаулығының өндіріс факторларына айқын тәуелділігін растайды. Жұмыс жағдайларының қауіптілік класының артуымен кәсіби бұзылулардың пайда болу ықтималдығы және ағзаның функционалдық жағдайының нашарлауы артатыны атап өтілді. Алынған нәтижелер жұмыс ортасының сипаттамалары мен жұмысшылардың денсаулығы арасындағы маңызды байланысты көрсетеді. Гигиеналық және медициналық-функционалдық көрсеткіштерді біріктіретін кешенді тәсілді қолдану тәуекелді дәлірек анықтауды қамтамасыз етеді және жағымсыз өзгерістерді ерте анықтауға көмектеседі. Әзірленген тәсілдерді кәсіби тәуекелдерді басқару жүйесін оңтайландыру және түзету шараларын жоспарлау үшін пайдалануға болады.

Түйін сөздер: кәсіптік тәуекел, еңбек жағдайлары, тау-кен өнеркәсібі, шаң жүктемесі, шу мен діріл, жұмысардың сырқаттануы, салыстырмалы тәуекел, шарттылық үлесі, тәуекелге бағдарланған тәсіл, еңбек жағдайларын бағалау.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ТРУДА НА СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Л.М. Актаева, А.М. Рахметова✉, Э.А. Кульмагамбетова, Г.К. Алшынбекова, А.Т. Шилменова, Н.Т. Сагиндикова, А.Ш. Ташенов, А.Е. Еркінбекова

РГП на ПХВ Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защите населения Республики Казахстан, Астана, Казахстан, e-mail: ra_anar@mail.ru

В статье исследуется влияние производственных условий на состояние здоровья работников горнодобывающей отрасли. Актуальность обусловлена значительной распространенностью вредных и/или опасных факторов на предприятиях данного профиля, их вкладом в формирование нарушения здоровья, а также необходимостью развития более точных инструментов количественной оценки профессионального риска и выявления ранних функциональных изменений.

В исследование включено 1520 работников, представляющих 48 профессий. Проведен анализ 97 случаев временной утраты трудоспособности как индикатора состояния здоровья. Классификация условий труда выполнена в соответствии градации вредности (3.1-3.3). Оценка риска осуществлялась с использованием показателей относительного риска (RR) и этиологической доли (EF). Для анализа условий труда применена апробируемая матричная модель на основе риск-ориентированного подхода, предусматривающая систематизацию заболеваний на общие, производственно-обусловленные и профессиональные.

Выявлено распределение профессиональных групп по уровням риска: 27 отнесены к категории высокого риска, 15 - к среднему и 6 - к низкому. Уставновлено, что определяющее значение имеет совокупное воздействие пылевых аэрозолей, шума и вибрации. Расчетные значения (RR = 2,32 и EF = 56,84%), подтверждают выраженную зависимость состояния здоровья работников от производственных факторов. Отмечено, что с увеличением класса вредности условий труда возрастает вероятность развития профессионально-обусловленных нарушений и ухудшения функционального состояния организма. Полученные результаты демонстрируют значимую связь между характеристиками производственной среды и состоянием здоровья работников. Применение интегрированного подхода, объединяющего гигиенические и медико-функциональные показатели, обеспечивает более точную идентификацию риска и способствует выявлению ранних неблагоприятных изменений. Разработанные подходы могут быть использованы при оптимизации системы управления профессиональными рисками и планировании корректирующих мер.

Ключевые слова: профессиональный риск, условия труда, горнодобывающая отрасль, пылевая нагрузка, шум и вибрация, заболеваемость работников, относительный риск, доля обусловленности, риск-ориентированный подход, оценка условий труда.

ANALYSIS OF THE IMPACT OF WORKING CONDITIONS ON THE HEALTH OF WORKERS IN THE MINING INDUSTRY

L.M. Aktayeva, A.M. Rakhmetova✉, E.A. Kulmagambetova, G.A. Alshynbekova, A.T. Shilmenova, N.T. Sagindikova, A.Sh. Tashenov, A.Y. Yerkinbekova

RSE at the National Research Institute for Occupational Safety of the Ministry of Labor and Social Protection of thePopulation of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan,
e-mail: ra_anar@mail.ru

The article examines the impact of working conditions on the health of mining industry workers. The relevance is due to the significant prevalence of harmful and/or dangerous factors in enterprises of this profile, their contribution to the formation of health disorders, as well as the need to develop more accurate tools for quantifying occupational risk and detecting early functional changes.

The study included 1,520 employees representing 48 professions. An analysis of 97 cases of temporary disability as an indicator of health status was carried out. The classification of working conditions is carried out in accordance with the degree of harmfulness (3.1-3.3). The risk assessment was carried out using relative risk (RR) and etiological proportion (EF) indicators. For a comprehensive analysis, a proven matrix model of working conditions based on a risk-based approach was used with the systematization of the nature of diseases into general, production-related and occupational diseases.

The distribution of professional groups by risk levels has been revealed: 27 are classified as high risk, 15 as medium risk and 6 as low risk. It is stated that the cumulative effects of dust aerosols, noise and vibration are crucial. The calculated values (RR = 2.32 and EF = 56.84%) confirm the pronounced dependence of workers' health status on production factors. It is noted that with an increase in the class of harmful working conditions, the likelihood of developing occupational disorders and deterioration of the functional state of the body increases. The results obtained demonstrate a significant relationship between the characteristics of the production environment and the health status of employees. The use

of an integrated approach combining hygienic and medico-functional indicators ensures more accurate identification of risk and helps to identify early adverse changes. The developed approaches can be used to optimize the professional risk management system and plan corrective measures.

Keywords: occupational risk, working conditions, mining industry, dust load, noise and vibration, employee morbidity, relative risk, proportion of conditionality, risk-based approach, assessment of working conditions.

Кіріспе. Тау-кен саласы шу, шаң, діріл және жоғары физикалық жүктемені қоса алғанда, зиянды факторлар әсерінен өндірістік қызметтің ең қауіпті түріне жатады. Аталған факторлар ұзақ уақыт бойы әсер еткен жағдайда, ең алдымен тыныс алу, жүрек-қан тамыр және тірек-қимыл жүйелерінде функуционалды әрі органикалық өзгерістер байқалады. Мұндай заңдылық қазіргі заманғы зерттеу нәтижелерімен расталған [1-3]. Аурулардың ауытпалығы туралы жаһандық зерттеу дереккөздеріне сәйкес, жұмыскерлер арасында кездесетін созылмалы аурулардың елеулі үлесі өндіріс факторларының ұзақ мерзімді әсеріне байланысты [4].

Аэрозольдер мен шаңның әсері - ең маңызды фактор болып саналады. Бұл өкпе тінінде қабыну мен фиброзды өзгерістердің дамуына ықпал етіп, биологиялық әсерлерінің артуы мен функционалды бұзылуларға әкеп соғады.

Шаңды аэрозольдердің ұзақ мерзімді әсері пневмокониоз және өкпенің басқа да созылмалы ауруларының дамуына тікелей ықпал етеді [5], бұл өз кезегінде өкпе қабынуы мен фиброзды үдерістермен байланысты [6].

Тау-кен саласындағы еңбек жағдайлары физикалық, химиялық әрі эргономикалық факторлардың біріккен әсерімен сипатталады. Факторлардың өзара әрекеттесуі кәсіптік тәуекелдің жоғары деңгейіне әкеледі [7].

Зерттеу жұмыстарының айтарлықтай санына қарамастан, көпшілігі жеке өндіріс факторларын зерттейді. Сонымен қоса, медициналық-функционалдық көрсеткіштер мен гигиеналық көрсеткіштерді біріктіруді ескере отрып, еңбек жағдайларының кәсіптік тәуекелдерге әсерін талдау, әсіресе Қазақстан Республикасының тау-кен саласында, дамымаған күйінде қалып отыр.

Бұл зерттеу жұмысының мақсаты - кәсіптік тәуекелдің сандық критерийлерін қолдана отырып, гигиеналық және медициналық-функционалдық көрсеткіштерді талдау негізінде тау-кен өндірісі саласындағы жұмыскерлердің денсаулығына еңбек жағдайларының әсерін бағалау.

Авторлар бұған дейін фосфор өнеркәсібіндегі өндірістің жарақаттар туралы зерттеу жүргізіп, жұмысты ұйымдастыру барысында, технологиялық үдерістерге және өнеркәсіптік қауіпсіздікке байланысты негізгі қауіп факторларын анықтаған. Өндірістік үдерістерді ұйымдастырудағы кемшіліктер мен еңбек қауіпсіздігі талаптарын сақтамау жарақаттар мен кәсіптік тәуекелдердің ықтималдылығын айтарлықтай арттыратыны анықталды. Нәтижелер еңбек жағдайларын бағалауға жүйелік тәсілдің маңызын растайды. Басқа салаларда, әсіресе тау-кен өнеркәсібінде өндіріс факторларының жұмыскерлердің денсаулығына әсерін одан әрі зерттеу қаэеттілігін көрсетеді [8].

Зерттеу гипотезасы бойынша, жұмыс жағдайларының нашарлауы және зиянды кәсіптік факторлардың (аэрозоль шаңы, шу, діріл) біріккен әсерлері кәсіптік қауіптің артуына әкеледі. Гигиеналық факторлар мен медициналық-функционалдық көрсеткіштерді интеграциялау жұмыскерлердің денсаулық жағдайындағы ерте функционалдық өзгерістерді анықтауға мүмкіндік береді.

Бұл зерттеу жұмысының ғылыми жаңалығы еңбек жағдайларына және кәсіптік факторлардың әсер ету деңгейіне байланысты кәсіптік қауіптің таралуындағы заңдылықтарды анықтау, сонымен қатар, гигиеналық бағалау мен медициналық-функционалдық көрсеткіштерді біріктіретін тәсілдеу негіздеу. Жұмыскерлердің денсаулық жағдайына өндірістік орта факторларының әсерін талдауға және жоғары тәуекел

топтарын анықтауға мүмкіндік беретін матрицалық модель ұсынылды және сынақтан өткізілді.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу дизайны - гигиеналық фактор мен сырқаттанушылық деңгейі туралы деректерге негізделген тау-кен саласындағы жұмыскерлердің денсаулығына еңбек жағдайларының әсерін бағалауға бағытталған аналитикалық бақылау зертеуі.

Зерттеу Қазақстан Республикасындағы тау-кен саласындағы жұмыскерлердің еңбек жағдайына және оның денсаулығына әсеріне бағытталған.

Зерттеуге 48 кәсіби топтан тұратын бір пилоттық кәсіпорынның 1520 жұмыскерлері қатысты. Зерттеу кезінде тіркелген уақытша еңбекке жарамсыздықтың 97 жағдайы туралы деректерді талдау үшін қолданылды.

Зерттеу жұмыстары бірнеше кезеңде жүргізілді.

Бірінші кезеңде шаң жүктемесінің, шудың, дірілдің және жұмыс процесінің аурлығының көрсеткіштерін қоса алғанда, гигиеналық еңбек жағдайлары туралы деректерді жинауды және жүйелеуді, содан кейін қолданыстағы нормативтік құжаттарға сай еңбек жағдайларын қауіпсіздік сыныптарына (3.1-3.3) жіктеуді қамтыды [9].

Екінші кезеңде жұмыскерлердің сыртқаттану үлгілері мен уақытша еңбекке жарамсыздық деректері негізінде медициналық және функционалдық жағдайын бағалауды қамтыды.

Үшінші кезеңде салыстырмалы тәуекелді (RR) және этиологиялық үлесін (EF) пайдаланып, кәсіптік тәуекелді сандық бағалауды қамтыды [10].

1-кесте. Тәуекелге бағытталған тәсілге негізделген еңбек жағдайларының сынақтан өткізілетін матрицалық моделі

Тәуекел дәрежесі	Тәуекел деңгейі	Еңбек жағдайларының сыныбы	RR диапазоны	EF, % диапазоны
1	Рұқсат етілген	Рұқсат етілген	0 RR ≤ 1	0
2	Төмен	Зиянды (орташа тәуекел)	1 RR ≤ 1,5	33
3	Орташа	Зиянды (елеулі тәуекел)	1,5 RR≤ 2	33–50
4	Жоғары	Зиянды (жоғары тәуекел)	2 RR ≤ 3,2	51–66
5	Өте жоғары	Экстремалды	3,2 RR ≤ 5	67–100

Салыстырмалы тәуекел (RR) келесі формуланы (1) пайдаланып есептелді:

$$RR = \frac{\frac{a}{e}}{\frac{c}{f}} = \frac{af}{ce} \quad (1)$$

мұндағы:

a - фактор әсеріне ұшыраған топта тіркелген науқастар саны,

c - бақылау тобындағы науқастар саны,

e - фактор әсеріне ұшыраған топтағы адамдардың жалпы саны,

f - бақылау тобындағы адамдардың жалпы саны.

Этиологиялық үлес (EF) келесі формула (2) бойынша анықталды:

$$EF = \frac{(RR-1)}{RR} \times 100\% \quad (2)$$

мұндағы:

EF - этиологиялық үлес, %;

RR - салыстырмалы тәуекел.

Салыстырмалы тәуекел мәндері (RR) мен этиологиялық үлесі (EF) арасындағы байланысты ескеретін тәуекелге бағытталған тәсілге негізделген еңбек жағдайларының сынақтан өткізілетін матрицалық моделі 1-кестеде көрсетілген.

Ұсынылған жіктеме алынған нәтижелерді түсіндіру және жұмыскерлерді кәсіби тәуекел деңгейіне бөлу үшін қолданылады.

Төртінші кезеңде ”кәсіп - өндірістік орта факторы - функционалдық өзгерістер - тәуекел деңгейі” матрицалық моделін қолдана отырып, жұмыскерлерді кәсіптік тәуекел деңгейлері бойынша жіктеу жүзеге асырылды.

Салыстырмалы тәуекелді есептеу (RR) факторға ұшыраған топтағы ауру жиілігінің бақылау тобындағы жиілікке қатынасы ретінде жүргізілді [10]. Этиологиялық үлесінің көрсеткіші (EF) өндірістік фактордың әсерінен болатын аурулардың үлесі ретінде анықталды.

Деректерді өңдеу сипаттамалық Статистика, салыстырмалы талдау және деректерді топтастыру әдістерін қолдану арқылы жүзеге асырылды. Көрсеткіштер арасындағы қатынастарды бағалау үшін салыстырмалы тәуекел көрсеткіштері қолданылды.

Нәтижелер және талқылаулар. Зерттеу тауken жұмыстарының кәсіптік топтарының кәсіби тәуекел деңгейлері бойынша бөлінуінде айтарлықтай гетерогенділікті анықтады.

Бір пилоттық кәсіпорыннан барлығы 1520 жұмыскер, яғни 48 кәсіптік топ талданды. Бағалау негізінде 27 кәсіптік топ жоғары қауіпті, 15 маңызды және 6 орташа қауіпеті деп жіктелді.

Бұл нәтижелер зерттелген кәсіптік топтардың басым бөлігінде өндірістік факторлардың әсері жоғары екенін көрсетті.

Жоғары қауіпті (3.3 сынып) деп жіктелген жұмыскерлердің еңбек жағдайларын талдау тәуекелдің негізінен шаң, шу, дірілдің бірлескен әсеріне байланысты екенін көрсетті.

Бұл санаттағы жұмыскерлерде сырқаттанушылық деңгейі мен функционалдық бұзылыстардың жиілігі жоғары болды.

Бұл топта тыныс алу жүйесі аурулары басым болды. Аэрозольді шаңның әсеріне байланысты RR көрсеткіші 2,32, ал EF көрсеткіші 56,84% құрады. Бұл патологиялық өзгерістердің қалыптасуына өндірістік факторлардың маңызды үлесін көрсетеді.

Зерттеу нәтижелері бойынша аэрозольді шаң тыныс алу жүйесі ауруларының дамуымен тығыз байланысты екені анықталды (RR=2,32; EF=56,84%). Бұл деректер әдебиетте келтірілген нәтижелермен сәйкес келеді [2,3].

Сонымен қатар, шу мен діріл деңгейінің жоғарылауымен жүрек-қан тамырлары аурулары мен сенсорлық бұзылуларды қоса алғанда, бұзылулар спектрінің кеңеюі байқалады.

Елеулі тәуекел сыныбына жататын кәсіби топтар үшін (3.2 сынып) еңбек процесінің қарқындылығымен ұштастыра отырып, өндірістік факторлар орташа әсер етеді. Бұл санаттағы функционалдық өзгерістер өндірістік факторлардың әсерін төмендеткен жағдайда қайтымды болуы мүмкін. Бұл өз кезегінде бастапқы функционалды өзгерістердің қалыптасуымен сипатталады.

Салыстырмалы тәуекел мәндері 1,54-тен 1,72-ге дейін,ал этиологиялық үлесі 35-41% құрайды. Бұл айқын клиникалық көріністерсіз функционалдық өзгерістердің бар екенін көрсетеді.

Шудың және физикалық күш түсуінің әсерінен туындайтын бұзылулардың арасында сенсорлық бұзылулар мен жүрек- қан тамырлары аурулары басым.

Орташа тәуекел деңгейі бар (3.1 сынып) жұмыскерлер үшін RR мәндері шамамен 1,37, EF=27% құрайды. Бұл кәсіби факторлардың салыстырмалы түрде төмен әсерін көрсетеді.

Тәуекел индикаторының салыстырмалы түрде төмен мәндеріне қарамастан, анықталған өзгерістер жасырын функционалдық бұзылулардың бар екенін көрсетеді.

Бұл топта ас қорыту жүйесінің функционалдық бұзылулары басым, бұл жұмыс жағдайлары мен жұмыс кестесімен байланысты болуы мүмкін.

2-кесте. Қызметкерлердің кәсіби топтарын кәсіптік тәуекел деңгейлері бойынша бөлу

Тәуекел деңгейі	Кәсіп саны	Аурулардың сипаты	Кәсіптердің мысалдары
Рұқсат етілген	0	-	-
Төмен	7	Жалпы аурулар	Техник-геолог, электрслесарь, тау-кен жұмысшысы, құю-төгу операторы, қосалқы жұмысшы, тау-кен жабдығы жөніндегі механик
Орташа	27	Кәсіби шартты аурулар	Геологиялық жұмыстардағы кенші, өлшеуші, автогрейдер машинисі, ағаш ұстасы, тас қалаушы, тау-кен шебері, экскаватор машинисінің көмекшісі, қаптау торабының аппаратшысы, электр жабдықтарын жөндеу және қызмет көрсету жөніндегі электромонтер, жабдықтарды жөндеу және қызмет көрсету жөніндегі слесарь, тиегіш жүргізушісі, бульдозер машинисі, концентраторшы, электргазбен дәнекерлеуші, кран машинисі, қоймашы, жөндеуші слесарь, тау-кен учаскесінің бастығы, таразышы, шина монтаждаушы, су бұру учаскесінің бастығы, аспаптық слесарь, ұсату және ұнтақтау учаскесінің бастығы, сүзгілеуші, жуушы-тазалаушы, маркшейдер-техник, кептіруші
Жоғары	14	Кәсіби шартты аурулар	Ұсатушы, экскаватор машинисі, сорғы қондырғыларының машинисі, бұрғылау-жару жұмыстарының инженері, бас геолог, жол жұмысшысы, қоюландырғыш аппаратшысы, конвейер машинисі, флотатор, бетоншы, диірмен машинисі, автокөтергіш және автогидрокөтергіш машинисі, трактор машинисі, БелАЗ автокөлігінің жүргізушісі
Өте жоғары	0	–	–

Жұмыскерлердің функционалдық өзгерістердің сипаты мен ауырлығы басым өндірістік факторларға тікелей байланысты екендігі анықталды. Шаңның әсері негізінен тыныс алу жүйесінің бұзылуымен байланысты, ал шу мен діріл сенсорлық және тірек-қимыл аппаратының бұзылуына әкеп соғады.

Факторлардың бірлескен әсері кезінде анықталған функционалдық бұзылыстардың спектрі кеңейе түсті.

Маңызды ерекшелік өндірістік факторлардың көпфакторлы әсері болып табылады. Бұл функционалдық бұзылыстардың айқындылығын арттыруы мүмкін.

Шаң, шу және діріл бір мезгілде әсер еткенде, дененің бірнеше жүйесіне әсер ететін неғұрлым айқын функционалдық бұзылулардың қалыптасуы байқалады.

Нәтижелер шаңның әсер етуі тыныс алу жүйесінің ауруларының пайда болуының негізгі факторы болып табылатын зауалы зерттеулерге сәйкес келеді [2,3], ал шу мен дірілдің әсері жүйелік бұзылулардың дамуымен байланысты [11].

Қызметкерлерді кәсіптік тәуекел деңгейлері бойынша бөлу 2-кестеде келтірілген.

2-кестеде көрсетілгендей, кәсіптік топтардың басым бөлігі жоғары тәуекел санатына жатқызылды. Бұл өндірістік факторлардың жұмыскерлер денсаулығына елеулі әсерін көрсетеді.

Кәсіби топтардың тәуекел деңгейлері бойынша таралуын егжей-тегжейлі талдау кәсіби сырқаттанушылық құрылымының орындалатын жұмыстардың сипатына, басым өндірістік факторларға айқын тәуелділігі бар екенін көрсетті.

Осылайша, шаңға неізінен ұшырайтын жұмыскерлер (ұсақтаушылар, кеншілер, флотация операторлары) тыныс алу жүйесінің ауруларының басым болуымен сипатталады, бұл жоғары салыстырмалы қауіп мәндерімен дәлелденді.

Сонымен қатар, жабдықтарды пайдалану және техникалық қызмет көрсетумен айналысатын жұмыскерлер (экскаватор және конвейер операторлары, карьер жабдықтарының жүргізушілері) діріл мен физикалық күш түсіру әсеріне байланысты тірек-қимыл аппаратының бұзылыстары мен сенсорлық бұзылыстарды қоса алғанда, функционалдық бұзылулардан зардап шегеді.

Жөндеу профилінің мамандары (слесарь, электромонтерлер) шу, физикалық белсенділік және техникалық ортамен байланыс сияқты факторлардың аралас әсерімен сипатталады, бұл мультисистемалық функционалдық өзгерістердің қалыптасуымен байланысты болуы мүмкін.

Нәтижелер функционалдық бұзылыстардың сипаты мен құрылымы орындалатын жұмыстың ерекшелігіне және басым өндірістік факторларға байланысты екенін көрсетті. Бұл кәсіптік тәуекелді бағалау мен профилактикалық шараларды жоспарлау кезінде сараланған тәсілді қолдану қажеттілігін көрсетеді.

Кәсіби тәуекелді интегралды бағалау үшін салыстырмалы тәуекел мәндері (RR) мен этиологиялық үлес (EF) арасындағы байланысты көрсететін матрицалық модель жасалды (3-кесте).

3-кесте. Тау-кен өнеркәсібінде кәсіптік аурулардың даму қаупінің таралуы

EF (%)/RR	≤1	1–1,5	1,5-2	2–3,2	3,2–5	5
0						
менее 33		ЖА күдікті КТ 7 кәсіптер				
33-50			КША болжамды КТ 27			
51-66				КША дәлелденген КТ 14		
67-80						
81-100						

Ұсынылған матрицалық модель RR және EF көрсеткіштерінің үйлесіміне негізделген кәсіби тәуекел деңгейлерін жіктеуге мүмкіндік береді.

Модель RR және EF көрсеткіштерінің шекті мәндерін анықтауға және функционалдық бұзылыстардың даму қаупін бағалауға мүмкіндік береді.

Мұндай интерграцияланған тәсілдерді қолдану кәсіби тәуекелді бағалаудың замануи халықаралық әдіснамаларына сәйкес келеді [12].

RR және EF көрсеткіштерінің жоғары мәндері кәсіптік тәуекел деңгейінің жоғарылауымен бай-

ланысты болды.

Осылайша, модель нәтижелерді көрнекі түрде түсіндіруді қамтамасыз етеді және жұмыс жағдайларын практикалық бағалау үшін пайдалануы мүмкін.

Зерттеу жұмысында пилоттық кәсіпорын нысанында медициналық және функционалдық бағалау әдісі сынақтан өткізілді. Сынақтан өткізу кезінде сырқаттанушылық үлгілерін, уақытша еңбекке жарамсыздық деңгейін талдау және оларды жұмыс жағдайларының гигиеналық сипаттамаларымен салыстырылды.

4-кесте. Тау-кен кәсіпорындарында медициналық және функционалдық бағалауды сынақтан өткізу нәтижелері

Жалпы гигиеналық бағалау, ЕЖС	Тау-кен саласындағы пилоттық кәсіпорын	
	Кәсіптер саны	Кәсіби денсаулық мониторингі
ЕЖС 2		
ЕЖС 3.1	4	-
		-
		3.2 - 1
		3.3 - 3
		-
		-
ЕЖС 3.2	18	-
		3.1 - 2
		3.2 - 5
		3.3 - 11
		-
ЕЖС 3.3	26	-
		3.1 - 5
		3.2 - 21
		-
		-
	48	48

Сынақтан өткізу нәтижелері гигиеналық және медициналық-функционалдық бағалаудың кешенді тәсілі ресми тіркелген кәсіптік аурулар болмаған жағдайда да жасырын функционалдық бұзылыстарды анықтауға мүмкіндік беретінін көрсетті.

Тау-кен кәсіпорынындағы функционалды өзгерістердің дамуы шу, шаңның әсері және жұмыс стресі сияқты бірқатар өндіріс факторларының әсеріне ұшыраумен де байланысты екені анықталды. Анықталған бұзылулардың сипаты әдебиетте сипатталған мәліметтермен ұқсас болды.

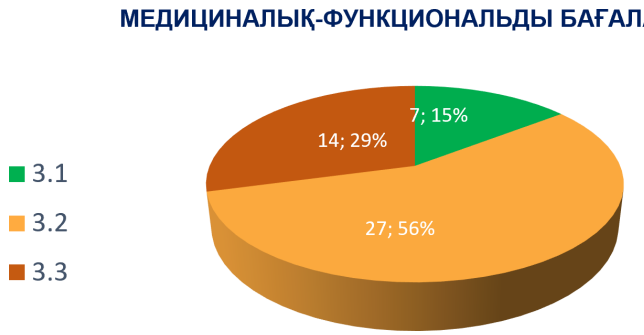
Жүргізілген талдаулар гигиеналық жұмыс жағдайларының нашарлауымен сырқаттанушылықтың артуын, сондай-ақ салыстырмалы тәуекелдің және этиологиялық үлестің артатынын көрсетті. Бұл кәсіптік тәуекелді бағалауға ұсы-

нылған тәсілдің сезімталдығын растайды.

Сынақтан өткізу нәтижелері 4- кестеде және 1,2 суретте көрсетілген.



1-сурет. Қызметкерлерді жалпы гигиеналық бағалау нәтижелері



2-сурет. Қызметкерлерді медициналық-функционалды бағалау нәтижелері

Нәтижелерді замануи зерттеулердің деректерімен салыстыруды және тереңірек түсіндіруді қажет етеді.

Алынған нәтижелер тау-кен саласындағы өндірістік факторлардың аралас әсері туралы замануи идеяларға сәйкес келеді. Аэрозоль шаңының әсер етуі функционалдық бұзылулардың дамуына ең үлкен үлес қосатыны көрсетілді, бұл оның тыныс алу жолдары ауруларының дамуындағы негізгі рөлін атап өтетін жүйелі шолулардың деректерімен сай келеді [2,3,13].

Әдеби деректер бойынша, шаңның ұзақ уақыт әсер етуі өкпе тінінде созылмалы қабыну процестерінің дамуына әкеледі [2], бұл сыртқы тыныс алу функциясының төмендеуімен бірге жүреді. Ұқсас нәтижелер Li M. Және бірлескен авторлардың [3] зерттеуі бойынша шаңның әсері тек тыныс алу патологиясымен ғана емес, сонымен қатар жүрек-қан тамырлары бұзылыстары және жүйелік әсерлермен де байланысты екендігі көрсетілген.

Бұл зерттеуде алынған салыстырмалы тәуекел және атрибутивтік мәндері (RR=2.32 және EF=56,84%) халықаралық зерттеулердің деректерімен салыстыруға болады, бұл анықталған заңдылықтардың әмбебап сипатын растайды.

Кәсіби тәуекелдің дамуына шаңның әсерінен бөлек, шу мен дірілдің әсері маңызды рөл атқарады. Бұл факторлар сенсорлық бұзылулар мен жүрек-қан тамырлары ауруларының дамуымен байланысты екенін Мюнцель Т. және т.б. [11] зерттеулерінің нәтижелеріне сәйкес келеді. Зерттеу нәтижесі созылмалы шудың әсерінен қантамырлық реттелудің бұзылуы және артериялық гипертензияның дамуымен байланысты екендігін көрсетті.

Кәсіптік факторлардың біріккен әсеріне ерекше назар аудару керек, мұндай жағдайда по-

тенциалдау әсері байқалады. Тау-кен саласында бұл тотығу стрессінің жоғарылауында, метаболикалық процестердің бұзылуында және жұмыскерлердің бейімделу қабілетінің төмендеуінде көрініс табады. Бұл тотығу-тотықсыздану реттелуінің заманауи тұжырымдамаларымен расталады [14].

Zhang B. және бірлескен авторлардың зерттеу нәтижелерінің мета-анализ деректеріне сәйкес келеді [1]. Бұл деректерге сүйенсек, тау-кен саласының жұмыскерлердің денсаулығына әсер ететін негізгі факторларға шаңның әсері, шу және физикалық жүктемелер жатады. Мұндай жағдайда синергетикалық әсер көрініс тауып, бұл мультисистемалық бұзылулардың пайда болуына әкеледі.

Алынған нәтижелер тау-кен өнеркәсібіндегі кәсіптік тәуекелдің қалыптасу заңдылықтары халықаралық зерттеулерде сипатталған үрдістермен ұқсас екенін көрсетті [7].

Заманауи зерттеулер кәсіптік тәуекелдің қалыптасуына әсер ететін өндіріс факторларының әсерінің гендерлік ерекшеліктерін ескерудің маңыздылығын атап көрсетеді [15]. Зерттеудің маңызды тұжырымы - ресми тіркелген кәсіби аурулары жоқ жұмыскерлердегі функционалдық өзгерістерді анықтау. Бұл тұжырым патологиялық процестердің жасырын сипатын және қолданыстағы медициналық бақылау жүйелерінің жеткіліксіз сезімталдығын көрсетеді.

Авторлардың зерттеу жұмысында диагностикаланбаған және клиникалық емес жағдайлардың кәсіптік аурушаңдықтың жалпы құрылымына айтарлықтай үлес қосатыны атап өтілген [16].

Практикалық тұрғыдан алғанда, алынған нәтижелер кәсіптік тәуекелді бағалаудың реактивті моделінен функционалдық өзгерістерді ерте анықтауға негізделген профилактикалық модельге көшу қажеттілігін көрсетеді.

Қазіргі жағдайда кәсіптік тәуекелдерді талдау және бақылаудың цифрлық әдістерін енгізу перспективалы тәсіл екенін, авторлардың заманауи зерттеулерімен расталған [17]. Нәтижесінде еңбек жағдайлары мен жұмыскерлердің денсаулығы арасындағы жасырын байланыстарды анықтау үшін деректерді талдау әдістерін қолданудың тиімділігін көрсетеді.

Осылайша, зерттеу тек бар ғылыми тұжырымдамаларды растап қана қоймай, сонымен қатар гигиеналық және медициналық-функционалдық көрсеткіштерді ескеретін кәсіптік тәуекелді бағалауға кешенді тәсілді қолдану арқылы тұжырымдарды толықтырады.

Бұл нәтижелер тау-кен саласындағы еңбекті қорғау және қауіпсіздіу жүйелері үшін маңызды практикалық маңызға ие. Сондай-ақ, қазіргі заманғы зерттеулермен расталғандай, тау-кен өнеркәсібіндегі еңбек жағдайлары да кәсіптік жарақаттардың жоғары деңгейімен сипатталатынын атап өткен жөн [18].

Еңбек жағдайларын талдау нәтижесінде тау-кен саласының жұмыс орындарында бірқатар қоршаған орта факторларының нормативтік шектеулерден асып түсетіні анықталды. Шу деңгейі 81,2-ден 85,9 дБ-ге дейін, діріл деңгейі 102,6 дБ-ге дейін, ал шаң концентрациясы 6,1-ден 8,1 мг/ м^3-ге дейінгі мәнге екені анықталды. Бұл көрсеткіштер қауіпті жұмыс жағдайларына сәйкес келеді (3.1-3.3 сыныптар) және кәсіби қауіптің жоғары деңгейін көрсетеді. Аэрозольді шаң мен шу жұмыскерлердің денсаулығына үлкен әсер етеді, бұған тыныс алу жолдарының аурулары мен сенсорлық бұзылулар басым болатын аурулардың таралуы дәлел бола алады.

Қорытынды нәтижелер кәсіби құрылымды талдаумен бірге интергралды көрсеткіштерді (RR және EF) пайдалану жоғары тәуекел топтарын дәлірек анықтауға және негізделген түзету шараларын қалыптастыруға мүмкіндік беретінін растайды.

3.1-сыныптан 3.3-ке көшу кезінде салыстырмалы тәуекел мен этиологиялық үлесінің мәндерінің дәйекті өсуі байқалады. Сонымен, орташа тәуекел деңгейі бар жұмыскерлер үшін RR мәндері шамамен 1,37 құрайды, ал жоғары тәуекел санаты үшін бұл көрсеткіш 2,32- ге жетеді. Ұқсас тенденция EF көрсеткіші үшін байқалады, оның мәні 27%-дан 56,84%-ға дейін артады.

Алынған нәтижелер жұмыскерлердің кәсіптік дифференциясына байланысты кәсіптік тәуе-

келді бағалауға сараланған тәсілдің қажеттілігін көрсетеді. Ұқсас еңбек жағдайларында да функционалдық бұзылулардың сипаты айтарлықтай өзгеруі мүмкін екендігі анықталды, бұл орындалатын өндірістік операциялардың ерекшеліктеріне тікелей қатысты.

Қорытынды. Тау-кен саласындағы жұмыс жағдайлары шаңның, шудың және дірілдің бірікккен әсеріне байланыста жоғары кәсіптік тәуекелдерді тудыратыны анықталды. Еңбек жағдайлардың нашарлауы салыстырмалы тәуекелдің және оларға байланысты үлестің артуымен, сондай-ақ көп жүйелік бұзылулардың дамуымен қатар жүреді. Орташа әсер ету кезінде де функционалдық өзгерістерді анықтау ерте диагностикалау қажеттілігін растайды. Нәтижесінде еңбек қауіпсіздігі мен денсаулық сақтауда тәуекелге негізделген тәсілді қолдануды қолдайды.

Қаржыландыру. *Мақалада «Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ РМК-ның ғылыми - зерттеу жұмыстарын бағдарламалық - нысаналы қаржыландыру шеңберінде «Еңбек жағдайлары және кәсіптік тәуекелдер: «жасыл экономикаға» көшу шеңберінде топтастырудың жіктелуі, санаттары мен өлшемшарттары»» (ЖТН BR 22182667) тақырып бойынша ғылыми-техникалық бағдарламаны іске асыру барысында алынған ғылыми зерттеулердің нәтижелері ұсынылған.*

Әдебиеттер

1. Zhang B., Yin X., Guo Y., Tong R. What occupational risk factors significantly affect miners' health: Findings from meta-analysis and association rule mining // Journal of Safety Research. - 2024. - Vol.89.- P.197-209. DOI 10.1016/j.jsr.2024.02.010.

2. Shekarian Y., Rahimi E., Rezaee M., Roghanchi P.A systematic review of occupational exposure to respirable coal mine dust (RCMD) in the U.S. mining industry// International Journal of Coal Science & Technology. - 2023. - Vol.10(29). - P.2-13. DOI 10.1007/s40789-023-00586-5.

3. Li M., Wu C., Zhang Y., Jiang Y., Lin J., Xiang J. Effects of occupational dust exposure on the health status of workers in China// Scientific Reports. - 2025. - Vol.15:19487. DOI 10.1038/s41598-025-04014-3.

4. GBD 2019.Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019// The Lancet. - 2020. - Vol.396(10258.- P.1223-1249. DOI 10.1016/S0140-6736(20)30752-2.

5. Leung C.C., Yu I.T.S, Chen W. Silicosis // The Lancet. - 2012. - Vol. 379(9830).-P.2008-18. DOI 10.1016/S0140-6736(12)60235-9.

6. Mossman B.T., Churg A. Mechanisms in the pathogenesis of asbestosis and silicosis // American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. -1998.-Vol.157.- P.1666-1680. DOI 10.1164/ajrccm.157.5.9707141.

7. A. M. Donoghue. Occupational health hazards in mining: an overview//Occupational Medicine.-2004.-Vol.54(5).-P.283-289. DOI 10.1093/occmed/kqh072.

8. Актаева Л.М., Бекмагамбетов А.Б., Рахметова А.М., Насырова Г.А., Құлмағамбетова Э.А., Алшынбекова Г.К., Шілменова А.Т., Сағындықова Н.Т. Өндірістік жарақаттану Қазақстан Республикасының фосфор өнеркәсібі кәсіпорындарындағы еңбекті қорғау және кәсіптік тәуекелдерді басқару жайкүйінің көрсеткіші ретінде // Вестник КазУТБ. - 2026.-Т.1(30) С/ 558-573. DOI 10.58805/kazutb.v.1.30-1388.

9. Приказ Председателя Комитета СЭК МЗ РК от 31.12.2020г № 14. Методическая рекомендация «Гигиеническая классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса»-2020. - URL: https://prg.kz/document/?doc_id=35193093&pos=9;268.- Дата обращения 12.02.2026.

10. Бухтияров И.В.Профессиональная патология: национальное руководство.- М:ГЭОТАР Медиа.-2024.- 904 с. ISBN 978-5-9704-8177-6. DOI 10.33029/9704-8177-6-PP2-2024-1-904.

11. Münzel T., Schmidt F.P., Steven S. et al. Environmental noise and the cardiovascular system // Journal of the American College of Cardiology.-2018.-Vol.71(6).-P.688-697. DOI 10.1016/j.jacc.2017.12.015.

12. EU-OSHA. Occupational safety and health risk assessment methodologies // European Agency for Safety and Health at Work.-2022.-URL: https://oshwiki.osha.europa.eu/en/themes/occupational-safety-and-health-risk-assessment-methodologies.- Дата обращения 12.02.2026.

13. Ashuro Z.A., Debela B.G., Daba C.D. et al. The effect of occupational exposure to organic dust on lung function parameters among African industrial workers: a systematic review and meta-analysis//Frontiers in Public Health.-2024.-Vol.12.- P.1-16. DOI 10.3389/fpubh.2024.1424315.

14. Sies H. Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine // Redox Biology. - 2015. - Vol.4.-P.180-183. DOI 10.1016/j.redox.2015.01.002.

15. Eiter B.M., Dugdale Z.J., Robinson T. et al. Occupational safety and health of women in mining // Journal of Women' s Health. - 2023. - Vol.32(4).- P.388-395. DOI 10.1089/jwh.2023.0034.

16. Bloom D.E., Chen S., Kuhn M., McGovern M.E., Oxley L., Prettner K. The economic burden of chronic diseases: estimates and projections for China, Japan, and South Korea // The Journal of the Economics of Ageing.-2020.-Vol.17:100163. DOI 10.1016/j.jeoa.2018.09.002.

17. Fagundes T.P., Wichmann R.M., Silva M.E.L., Oliveira T.A. Big data on occupational health: how far are we? // Revista Brasileira de Saúde Ocupacional. - 2024.-Vol.49(3). DOI 10.1590/2317-6369/40522en2024v49edcinq11.

18. Cruz-Ausejo L., Cama-Ttito N.A., Flores Solano P., Copez-Lonzoy A., Vera-Ponce V.J. Occupational accidents in mining workers: scoping review of studies published in the last 13 years. // BMJ Open. - 2024. - Vol. 14(13):e080572. DOI 10.1136/bmjopen-2023-080572.

References

1. Zhang B., Yin X., Guo Y., Tong R. What occupational risk factors significantly affect miners' health: Findings from meta-analysis and association rule mining // Journal of Safety Research. - 2024. - Vol.89.-P.197-209. DOI 10.1016/j.jsr.2024.02.010.

2. Shekarian Y., Rahimi E., Rezaee M., Roghanchi P.A systematic review of occupational exposure to respirable coal mine dust (RCMD) in the U.S. mining industry// International Journal of Coal Science & Technology. - 2023. - Vol.10(29). - P.2-13. DOI 10.1007/s40789-023-00586-5.

3. Li M., Wu C., Zhang Y., Jiang Y., Lin J., Xiang J. Effects of occupational dust exposure on the health status of workers in China// Scientific Reports. - 2025. - Vol.15:19487. DOI 10.1038/s41598-025-04014-3.

4. GBD 2019.Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019// The Lancet. - 2020. - Vol.396(10258.- P.1223-1249. DOI 10.1016/S0140-6736(20)30752-2.

5. Leung C.C., Yu I.T.S, Chen W. Silicosis // The Lancet. - 2012. - Vol. 379(9830).-P.2008-18. DOI 10.1016/S0140-6736(12)60235-9.

6. Mossman B.T., Churg A. Mechanisms in the pathogenesis of asbestosis and silicosis // American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. -1998.-Vol.157.- P.1666-1680. DOI 10.1164/ajrccm.157.5.9707141.

7. A. M. Donoghue. Occupational health hazards in mining: an overview//Occupational Medicine.-2004.-Vol.54(5).-P.283-289. DOI 10.1093/occmed/kqh072.

8. Aktaeva L.M., Bekmagambetov A.B., Rahmetova A.M., Nasyrova G.A., Kұlmarambetova Je.A., Alshynbekova G.K., Shilmenova A.T., Sarұndyқova N.T. Өndiristik zharaқattanu Қazaқstan Respublikasynyң fosfor өnerkәsibi kәsiporyndaryndarұ eңbekti qorғau zhәne kәsiptik tәuekelderdi basқaru zhajkүjinің kөrsetkishi retinde // Vestnik KazUTB. - 2026.-T.1(30) C/ 558-573. DOI 10.58805/kazutb.v.1.30-1388. [in Russian]

9. Prikaz Predsedatelja Komiteta SJeK MZ RK ot 31.12.2020g № 14. Metodicheskaja rekomendacija «Gigienicheskaja klassifikacija uslovij truda po pokazateljam vrednosti i opasnosti faktorov proizvodstvennoj sredy, tjazhesti i naprjazhennosti trudovogo processa»-2020. - URL: https://prg.kz/document/?doc_id=35193093&pos=9;268.- Data obrashhenija 12.02.2026. [in Russian]

10. Buhtijarov I.V.Professional' naja patologija: nacional' noe rukovodstvo.- M:GJeOTAR Media.-2024.-904 s. ISBN 978-5-9704-8177-6. DOI 10.33029/9704-8177-6-PP2-2024-1-904. [in Russian]

11. Münzel T., Schmidt F.P., Steven S. et al. Environmental noise and the cardiovascular system // Journal of the American College of Cardiology.-2018.-Vol.71(6).-P.688-697. DOI 10.1016/j.jacc.2017.12.015.

12. EU-OSHA. Occupational safety and health risk assessment methodologies // European Agency for Safety and Health at Work.-2022.-URL: https://oshwiki.osha.europa.eu/en/themes/occupational-safety-and-health-risk-assessment-methodologies.- Date accessed: 12.02.2026.

13. Ashuro Z.A., Debela B.G., Daba C.D. et al. The effect of occupational exposure to organic dust on lung function parameters among African industrial workers: a systematic review and meta-analysis//Frontiers in Public Health.-2024.-Vol.12.- P.1-16. DOI 10.3389/fpubh.2024.1424315.

14. Sies H. Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine // Redox Biology. - 2015. - Vol.4.-P.180-183. DOI 10.1016/j.redox.2015.01.002.

15. Eiter B.M., Dugdale Z.J., Robinson T. et al. Occupational safety and health of women in mining // Journal of Women' s Health. - 2023. - Vol.32(4).- P.388-395. DOI 10.1089/jwh.2023.0034.

16. Bloom D.E., Chen S., Kuhn M., McGovern M.E., Oxley L., Prettner K. The economic burden of chronic diseases: estimates and projections for China, Japan, and South Korea // The Journal of the Economics of Ageing.-2020.-Vol.17:100163. DOI 10.1016/j.jeoa.2018.09.002.

17. Fagundes T.P., Wichmann R.M., Silva M.E.L., Oliveira T.A. Big data on occupational health: how far are we? // Revista Brasileira de Saúde Ocupacional. - 2024.-Vol.49(3). DOI 10.1590/2317-6369/40522en2024v49edcinq11.

18. Cruz-Ausejo L., Cama-Ttito N.A., Flores Solano P., Copez-Lonzoy A., Vera-Ponce V.J. Occupational accidents in mining workers: scoping review of studies published in the last 13 years. // BMJ Open. - 2024. - Vol. 14(13):e080572. DOI 10.1136/bmjopen-2023-080572.

Авторлар туралы мәлімет

Актаева Л.М.-медицина ғылымдарының докторы, Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ РМК (ҚР ЕХӘҚМ РҒЗИ), Астана, Қазақстан, e-mail: rniiot@ rniiot.kz;

Рахметова А.М. - медицина ғылымдарының кандидаты, доцент, биомониторинг және еңбек гигиенасы бөлімінің басшысы, «Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегірес-

публикалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ РМК, Астана, Қазақстан, e-mail: ra_anar@mail.ru;

Құлмағамбетова Э.А. - химия ғылымдарының кандидаты, «Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ РМК, Астана,Қазақстан, e-mail: elya_kulmagambet@mail.ru;

Алшынбекова Г.К.-биология ғылымдарының кандидаты, «Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегіреспубликалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ РМК, Астана, Қазақстан, e-mail: gulnaz_gak@mail.ru;

Шилменова А.Т.-экономика ғылымдарының магистрі, Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегіреспубликалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ РМК, Астана, Қазақстан,e-mail: aigul.shilmenova@gmail.com;

Сагиндикова Н.Т. - техника және технология ғылымдарының магистрі, «Қазақстан Республикасы Еңбек және халықтыәлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ РМК,Астана, Қазақстан, e-mail: nursag79@mail.ru;

Ташенов А.Ш.- жаратылыстану ғылымдарының магистрі, Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегіреспубликалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ РМК, Астана, Қазақстан, e-mail: wl_t@mail.ru;

Еркінбекова А.Е-техника ғылымдарының магистрі, Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегіреспубликалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ РМК, Астана, Қазақстан, e-mail:aizada211002@gmail.com.

Information about the authors

Aktayeva L.M. - Doctor of Medical Sciences, National Research Institute for Occupational Safety of the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: rniiot@ rniiot.kz;

Rakhmetova A.M. - Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, National Research Institute for Occupational Safety of the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: ra_anar@mail.ru;

Kulmagambetova E. A. -PhD, National Research Institute for Occupational Safety of the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: elya_kulmagambet@mail.ru;

Alshynbekova G.K.- Candidate of Biological Sciences, National Research Institute for Occupational Safety of the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: gulnaz_gak@mail.ru;

Shilmenova A.T.-Master of Economics, National Research Institute for Occupational Safety of the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: aigul.shilmenova@gmail.com;

Sagindikova N. T. - Master of Engineering and Technology, National Research Institute for Occupational Safety of the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: nursag79@mail.ru;

Tashenov A.S.-Master of Natural Sciences, National Research Institute for Occupational Safety of the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: wl_t@mail.ru;

Yerkinbekova A.Y.-Master of Technical Sciences, National Research Institute for Occupational Safety of the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: aizada211002@gmail.com.

МРНТИ 52.13.25 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1574**

ENHANCING THE STABILITY OF UNDERGROUND COAL MINE WORKINGS USING POLYURETHANE INJECTIONS AND COMBINED SUPPORT SYSTEMS

[1]N.M. Zamaliyev, [2]Zh.T. Dauletzhanova✉, [1]R.A. Mussin, [3]R.T. Shayakhmetov, [1]R.R. Akhmatnurov

[1]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
[2]K. Kulazhanov Kazakh university of technology and business, Astana, Kazakhstan.
[3]«Altyn Komir Service» LLP

✉ *Corresponding author: kaliyeva_zhanna@mail.ru*

Underground coal mining at great depths is associated with increased rock pressure, floor heave, and gas hazards, which significantly complicate roadway stability. Traditional mechanical support systems (rock bolts, cable bolts, shotcrete, and wire mesh) often prove insufficient in soft and fractured strata. Over the past decade, polyurethane (PU) grouting and combined support systems have gained wide application as effective methods of reinforcement and sealing.

This review, based on 25 Scopus-indexed publications (2015-2025) and practical experience in the CIS coal basins, analyzes the properties of PU grouting materials, their injection technology, and their effect on roadway stability and gas drainage. Special attention is given to the role of thin spray-on liners (TSL) and hybrid solutions, as well as numerical modeling approaches (FLAC3D, RS2). The review highlights advantages of PU grouting such as high penetration and rapid strength gain, while also noting limitations including exothermic reaction, cost, and environmental concerns.

A synthesis of international research and industrial trials in Kazakhstan (Karaganda Coal Basin), Russia (Kuzbass), and Poland demonstrates the efficiency of combined systems in controlling floor heave and stabilizing roadway surroundings. Research gaps are identified in the fields of low-exotherm formulations, multi-physics modeling, joint design of support and gas drainage, and standardization of monitoring protocols.

Keywords: polyurethane grouting, combined support systems, roadway stability, floor heave, gas drainage, thin spray-on liner (TSL), permeability anisotropy, numerical modeling, Karaganda Coal Basin.

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ ШАХТ НА ОСНОВЕ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ИНЪЕКЦИЙ И КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ КРЕПЛЕНИЯ

[1]Н.М. Замалиев, [2]Ж.Т. Даулетжанова✉, [1]Р.А. Мусин, [3]Р.Т. Шаяхметов, [1]Р.Р. Ахматнуров

[1] Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
[2] 2Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан,
[3] ТОО «Altyn Komir Service»,
e-mail: kaliyeva_zhanna@mail.ru

Разработка угольных пластов на больших глубинах сопровождается повышенными горными давлениями, пучением почвы и газоопасностью, что существенно осложняет поддержание устойчивости выработок. Традиционные механические схемы крепления (анкера, канатные элементы, набрызгбетон, металлическая сетка) во многих случаях оказываются недостаточными в условиях мягких и трещиноватых пород. За последнее десятилетие полиуретановые (ПУР) инъекции и комбинированные системы крепи получили широкое распространение как эффективные методы упрочнения и герметизации массива.

Настоящий обзор, основанный на 25 публикациях, индексируемых в Scopus (2015-2025 гг.), а также на практическом опыте угольных шахт стран СНГ, анализирует свойства ПУР-составов, технологию их нагнетания и влияние на устойчивость выработок и дегазацию пластов. Особое

внимание уделено применению тонкослойных напыляемых покрытий (TSL), гибридных решений и методам численного моделирования (FLAC3D, RS2). В обзоре подчёркиваются преимущества ПУР-высокая проникающая способность и быстрый набор прочности, а также указываются ограничения: экзотермия реакции, высокая стоимость и экологические риски.

Сравнение международных исследований и промышленных испытаний в Казахстане (Карагандинский бассейн), России (Кузбасс) и Польше подтверждает эффективность комбинированных схем в контроле пучения почвы и стабилизации массива. Выявлены исследовательские пробелы, связанные с разработкой низкоэкзотермичных рецептур, многофизическими моделями, совместным проектированием крепи и дегазации, а также стандартизацией методов мониторинга.

Ключевые слова: полиуретановые инъекции, комбинированные системы крепления, устойчивость выработок, пучение почвы, дегазация, тонкослойное напыляемое покрытие (TSL), анизотропия проницаемости, численное моделирование, Карагандинский угольный бассейн.

КӨМІР ШАХТАЛАРЫНДАҒЫ ТАУ-КЕН ҚАЗБАЛАРЫНЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН ПОЛИУРЕТАНДЫҚ ИНЪЕКЦИЯЛАР МЕН АРАЛАС БЕКІТУ ЖҮЙЕЛЕРІ НЕГІЗІНДЕ АРТТЫРУ

[1]Н.М. Замалиев, [2]Ж.Т. Даулетжанова✉, [1]Р.А. Мусин, [3]Р.Т. Шаяхметов, [1]Р.Р. Ахматнуров

[1] Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[2] Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[3]«Altyn Komir Service» ЖШС,
e-mail: kaliyeva_zhanna@mail.ru

Көмір пласттарын үлкен тереңдіктерде игеру жоғары тау қысымымен, табан жыныстарының көтерілуімен және газ қауіптілігімен қатар жүреді, бұл тау-кен қазбаларының тұрақтылығын сақтауды едәуір қиындатады. Дәстүрлі механикалық бекіту сұлбалары (анкерлер, арқанды элементтер, шашыратпа бетон, металл тор) жұмсақ және жарықшақты жыныстар жағдайында көп жағдайда жеткіліксіз болып шығады. Соңғы онжылдықта полиуретандық (ПУР) инъекциялар мен аралас бекіту жүйелері массивті нығайту мен герметизациялаудың тиімді тәсілдері ретінде кеңінен тарады.

Scopus базасында индекстелген 25 жарияланымға (2015-2025 жж.), сондай-ақ ТМД елдерінің көмір шахталарының практикалық тәжірибесіне негізделген осы шолуда ПУР-құрамдардың қасиеттері, оларды айдау технологиясы және олардың қазбалардың тұрақтылығы мен пласттарды дегазациялауға әсері талданады. Ерекше назар жұқа қабатты бүркелетін жабындарды (TSL), гибридті шешімдерді және сандық модельдеу әдістерін (FLAC3D, RS2) қолдануға аударылған. Шолуда ПУР-дың артықшылықтары-жоғары өтімділік қабілеті мен беріктіктің жылдам өсуі-көрсетіліп, сонымен қатар оның шектеулері де атап өтіледі: реакцияның экзотермиялығы, жоғары құны және экологиялық тәуекелдер.

Қазақстандағы (Қарағанды бассейні), Ресейдегі (Кузбасс) және Польшадағы халықаралық зерттеулер мен өндірістік сынақтарды салыстыру аралас сұлбалардың табан жыныстарының көтерілуін бақылауда және массивті тұрақтандыруда тиімді екенін растайды. Төмен экзотермиялық рецептураларды әзірлеу, көпфизикалық модельдер, бекітуді және дегазацияны бірлесіп жобалау, сондай-ақ мониторинг әдістерін стандарттау салаларындағы зерттеу олқылықтары анықталды.

Түйінді сөздер: полиуретандық инъекциялар, аралас бекіту жүйелері, қазбалардың тұрақтылығы, табан жыныстарының көтерілуі, дегазация; жұқа қабатты бүркелетін жабын (TSL), өтімділіктің анизотропиясы, сандық модельдеу, Қарағанды көмір бассейні.

Introduction. Modern underground coal mines are increasingly facing challenges related to the stability of mine workings under conditions of deep mining, elevated gas content, and tectonic disturbance of the rock mass. As mining depth increases, rock pressure rises, the stress–strain state of the rock mass changes, and the likelihood of dynamic phenomena and floor heave increases. Collectively, these factors reduce the safety of mining operations and complicate roadway maintenance [1-3].

Traditional mechanical support systems-rock bolts, cable bolts, steel mesh, and shotcrete-have proven effective at shallow and medium depths. However, under conditions of “three soft” strata (soft roof, weak floor, and weak sidewalls), their load-bearing capacity becomes insufficient. Significant plastic deformations, loss of structural integrity, and accelerated deterioration of support elements are commonly observed [4,5].

In response to these challenges, combined technologies integrating mechanical and chemical reinforcement of the rock mass have been активно developed in recent decades. A key role is played by polyurethane (PU) grouting, which enables the formation of a reinforced zone around the excavation through fracture filling, adhesion to rock surfaces, and the expansive effect of foaming [6]. Complementary methods include thin spray-on liners (TSL), which provide rapid formation of a surface layer, increasing the overall stiffness of the excavation boundary [7].

The combination of PU grouting, rock and cable bolting systems, and TSL is gradually becoming a new standard for ensuring stability in deep coal mining conditions. However, several issues remain unresolved, including the selection of optimal PU formulations, control of exothermic reactions and long-term durability, assessment of the impact of injections on gas drainage efficiency, and the standardization of monitoring methods [8].

The aim of this review is to systematize global experience in the application of PU grouting, TSL, and combined support systems in underground coal mine workings based on an analysis of publications indexed in the Scopus database for the period 2015-2025. The study examines the chemical and mechanical properties of the materials used, injection parameters, their influence on rock mass stability and gas drainage efficiency, as well as practical case studies from China, Kazakhstan, Poland, and other countries. Particular attention is given to numerical modeling approaches (FLAC3D, RS2) and the identification of research gaps requiring further investigation.

Visual examples of polyurethane resin behavior and the formation of reinforced rock mass are presented in Figures 1-2, while large-scale deformations and manifestations of rock pressure are illustrated in Figure 3.



a) **b)**

Fig.1 - Interaction of fine (a) and mixed coarse and fine (b) rock fractions during resin bonding

Materials and Methods. The methodological framework of this review combines a systematic analysis of international publications with a generalization of practical experience in roadway operation in CIS countries.

From the international perspective, the Scopus database was used as the primary source, enabling coverage of leading journals in engineering, materials science, and mining. The search covered the period from 2015 to 2025 and included the following keywords: polyurethane grouting, PU injection, roadway stability, soft rock, coal mine support, floor heave, permeability anisotropy, thin spray-on liner. The analysis included studies reporting laboratory tests, field experiments, and numerical modeling. At the initial stage, approximately 180 publications were identified; after filtering based on relevance and data completeness, 32 sources were retained, representing the current state of research.



Fig.2 - Adhesion to metallic surfaces of arch support and profiled sheet lagging

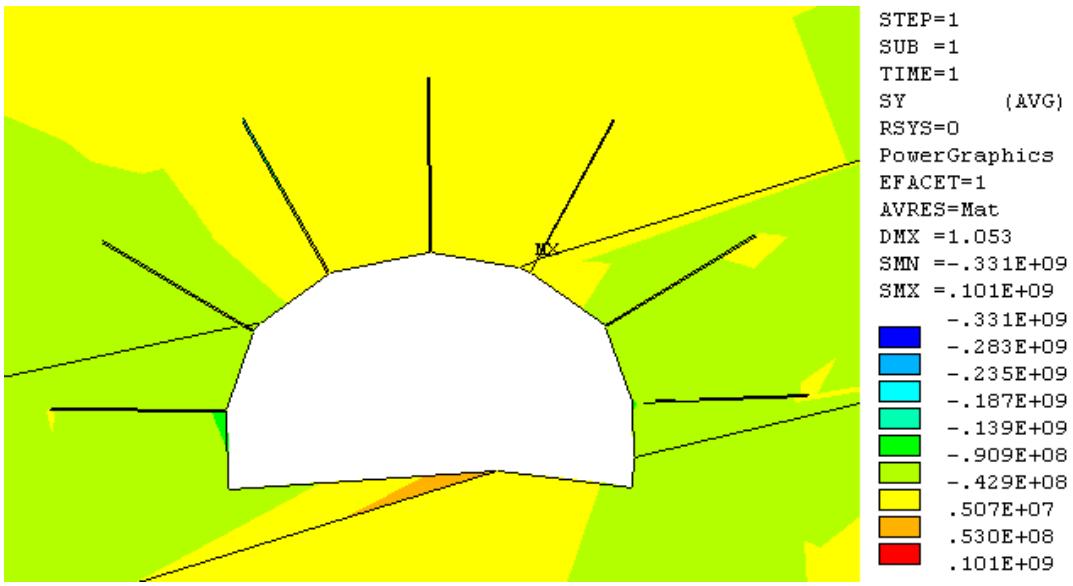


Fig.3 - Manifestations of rock pressure in a conveyor roadway under longwall mining with a return airflow ventilation scheme

In addition, the review relies on the experience of applying injection technologies in coal mines of the CIS. In Kazakhstan (Kuzembaev, Kostenko, and Abayskaya mines), Russia (Raspadskaya, Yubileinaya, Komsomolets in Kuzbass; Vorgashorskaya in Vorkuta), and Ukraine

(Zasyadko, Skochinsky, and Butovskaya mines in Donbas), extensive industrial experience has been accumulated in the use of polyurethane resins and combined support systems. These data are presented in research institute reports, dissertations, and monographs, which are not always indexed in Scopus but possess high practical value. The inclusion of such experience made it possible to expand the geographical scope of the analysis and demonstrate how global trends are adapted to regional mining and geological conditions.

Thus, the review methodology is based on two key directions:

1. systematization of global scientific publications, ensuring academic completeness and comparability;

2. integration of practical CIS experience, reflecting real results of technology implementation in the Karaganda Coal Basin, Kuzbass, and other regions.

This approach made it possible not only to trace the evolution of PU injection and combined support technologies at the international level but also to critically assess their effectiveness under industrial conditions in post-Soviet mining regions.

Polyurethane Materials. Polyurethane (PU) resins have become the primary injection material for stabilizing fractured rock in coal mines in recent years. Their key properties include low viscosity prior to gelation, controllable expansion ratio, high adhesion to coal and surrounding rock, and rapid strength development [1–3]. As a result, they are capable of penetrating microfracture systems and forming a reinforced zone around the excavation (Figures 1–2). Foaming upon contact with moisture produces an additional expansion effect, which contributes to void filling and reduces air leakage into gas drainage boreholes [4,5].

Micromechanisms of Reinforcement. The reinforcement mechanism of PU resins can be conditionally divided into three levels:

- Microscale - filling of pores and fractures, forming “bridges” between coal and rock

particles.

- Mesoscale - increase in local stiffness due to the formation of a cellular polymer structure,

redistributing stresses in the near-boundary zone.

- Macroscale - formation of a ring-shaped reinforced shell that reduces plastic deformation

concentration and prevents floor heave.

This multiscale effect has been confirmed by experimental studies in China [6–8] and industrial trials in the Karaganda Coal Basin, where the use of “BlockPUR S” resin resulted in more than a 20% reduction in deformation at roadway intersections and a decrease in convergence rate [9].

Comparison with Cementitious and Hybrid Materials. Ultrafine cement suspensions (UCS), modified with fly ash or microfillers, are also used for injection. These materials exhibit more stable rheology and higher durability; however, their penetration ability is lower than that of PU resins, particularly in fractures smaller than 0.1 mm [10].

In the CIS, cement-based mixtures have been more commonly used in main roadways where long-term stability is required, whereas PU resins have been applied in emergency and gas-hazardous conditions where rapid reinforcement is needed [11].

In recent years, hybrid systems have been developed, including PU + cement combinations, as well as PU formulations with mineral additives that reduce exothermicity and improve fire resistance [12].

Limitations and Prospects. The main limitation of PU resins remains their high exothermicity (up to 140–160 °C during reaction), which may lead to thermal stresses and localized rock degradation [13].

To mitigate these risks, low-exotherm formulations with phase-change additives are being developed worldwide [14]. In the CIS, such developments are mainly carried out within local projects aimed at adapting foreign resins to the conditions of the Karaganda Coal Basin and Kuzbass [11].

Injection Technology and Parameters.

1. Main Process Factors.

The technology of polyurethane injection is determined by several parameters:

- injection pressure, which defines the penetration depth into the fractured rock mass;

- viscosity of the composition prior to gelation and its time-dependent variation;

- gel time (from tens of seconds to 10-15 minutes depending on formulation);

- temperature conditions of the rock mass, significantly affecting reaction kinetics;

- packer arrangement scheme (advance, local, or circumferential).

According to Chinese studies, the optimal pressure for soft coal is at least 3-4 MPa, ensuring an impregnation radius of up to 1.2-1.5 m [1,2]. At lower pressures, the reinforcement zone becomes uneven, reducing sealing effectiveness.

2. Viscosity-Time Characteristics.

A key feature of PU compositions is the sharp increase in viscosity during gelation. At the initial stage, the mixture behaves as a quasi-Newtonian fluid with low flow resistance, facilitating penetration into fracture systems. This is followed by a rapid viscosity increase, fixing the material within pores and voids.

This “workability window” ranges from 30 seconds to 5 minutes depending on the resin type [3]. In the CIS, extended pot-life compositions (up to 7-8 minutes) have been used in Karaganda coal mines, allowing better control of penetration depth in extended fractures [14].

3. Zoning by Stiffness and Sealing.

International experience shows that a fully rigid shell is not always optimal. Excessive reinforcement may hinder methane filtration, reducing gas drainage efficiency [5].

Therefore, a zonal approach is applied:

- the collar and near-borehole zone are reinforced with rigid sealing materials;

- at greater distances, a more permeable “soft” zone is maintained.

This strategy has been successfully implemented in China for gas drainage borehole sealing [2] and in Kazakhstan (Kuzembaev and Kostenko mines), where high-density PU was used near the collar and lower-expansion PU deeper in the rock mass [12].

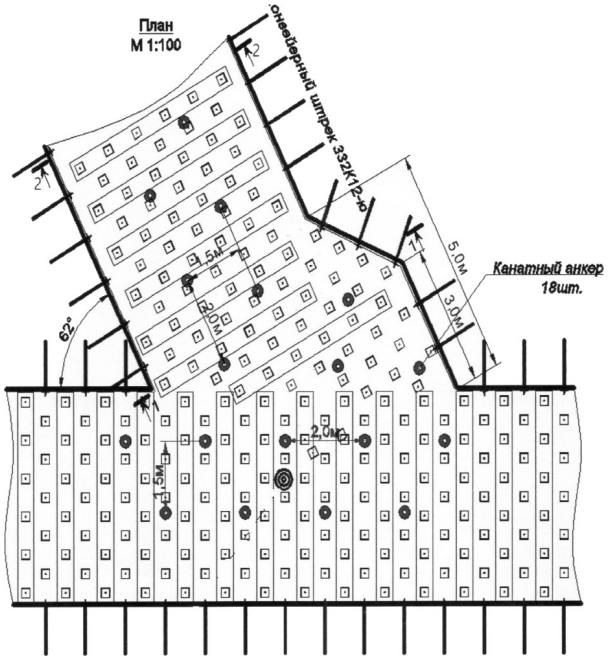


Fig.4 - Industrial trials and implementation of composite rock bolts in supporting the junction of conveyor roadway 332k12-s with ventilation incline K10 at the Abayskaya mine of «Karaganda Komir» JSC

4. CIS Practice.

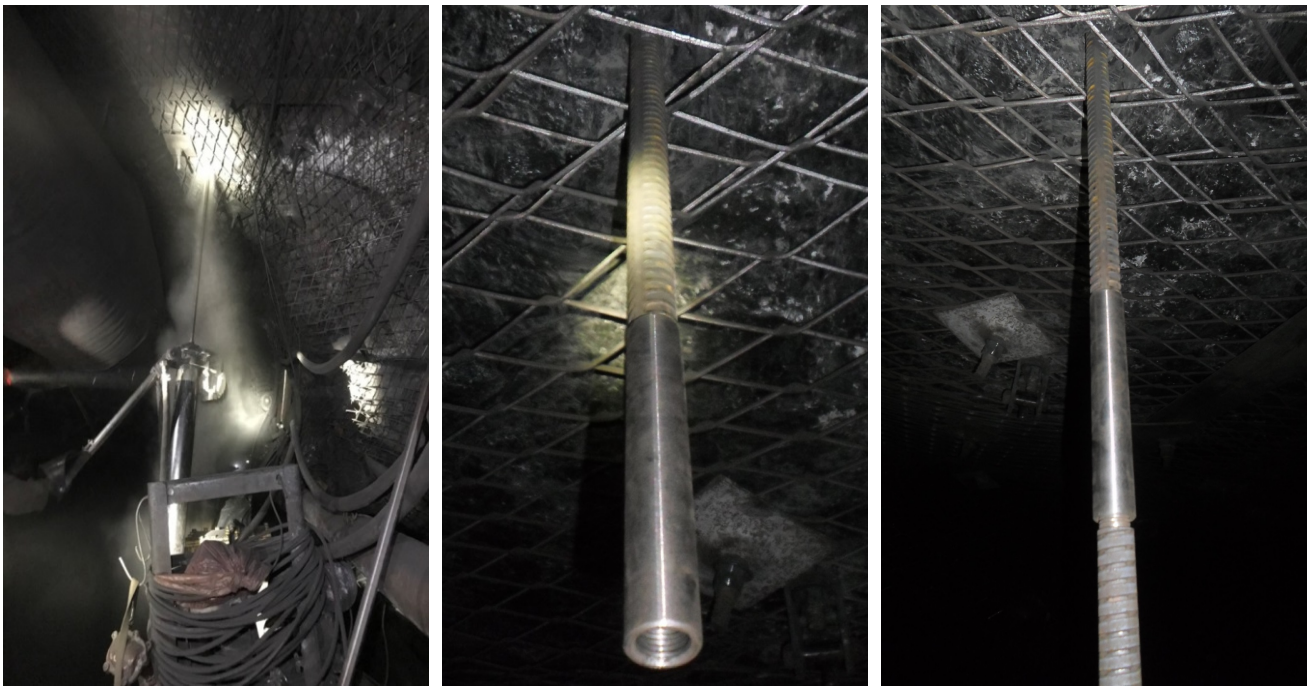
In the CIS, the use of malleable anchors with mixed bonding has demonstrated high efficiency in operational workings, improving load transfer and stability of the surrounding rock mass [15].

In the Karaganda Coal Basin, technological regulations were developed: packer spacing of 0.8–1.2 m, injection pressure up to 5 MPa, and control of resin outflow through adjacent boreholes to assess impregnation radius [7].

In Kuzbass, combined schemes were implemented: preliminary injection of cement suspensions to fill large fractures, followed by PU injection for sealing fine fractures. This approach reduced the consumption of expensive polymers by 20-30% while maintaining reinforcement efficiency [8].

5. Visualization.

Schemes of packer placement, injection sequences, and radial impregnation zones are shown in Figures 4 and 5, illustrating the actual technological process.



a) **b)** **c)**

Fig.5 - Drilling of a borehole using an SBR roof bolter (a) and installation of a composite rock bolt into the borehole (b, c - corresponding to the middle and lower parts of the rod) in the roof at the junction of conveyor roadway 332k12-s with the ventilation incline $к_{10}$

***Mechanisms of Floor Heave and Integrated Support Solutions*.**

1. Nature of Floor Heave.

Floor heave is one of the most critical problems in deep underground coal mines. It is associated with stress redistribution under conditions of “three soft” strata and active fracturing in the near-boundary zone. This leads to plastic extrusion of floor rocks into the excavation, accompanied by increased convergence and accelerated deterioration of support systems [1-3]. Typical deformation patterns and manifestations of floor heave are shown in Figure 6.

2. Limitations of Mechanical Support Systems.

Traditional methods of controlling floor heave-extended rock bolts, cable bolts, and advance support systems-reduce the rate of deformation but do not eliminate the process itself. Observations in

the Karaganda Coal Basin and Kuzbass show that even when bolt length is increased to 3-4 m, the plastic zone continues to develop, affecting the floor and sidewalls [4].

3. Combined Support Systems

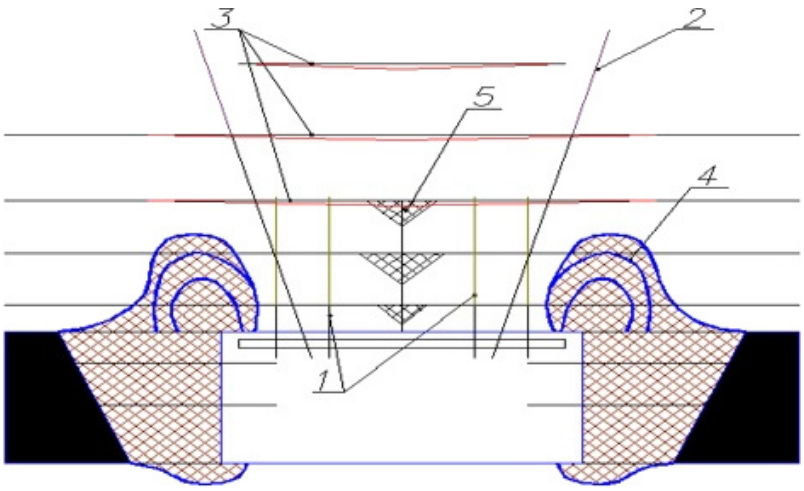
The highest efficiency is demonstrated by combined solutions that include:

- short rows of bolts (to stabilize the near-boundary zone);

- long cable bolts (to support the roof and sidewalls);

- local PU injections in zones of maximum floor deformation.

This approach forms a “reinforced-injection belt” that redistributes stresses and reduces displacement amplitude [5,6]. In China, this solution resulted in a 30-40% reduction in the rate of floor heave [7], while in the Karaganda Coal Basin it led to stabilization of roadway junctions and a reduction in maintenance work volumes [8].



1-standard-length steel-polymer rock bolts; 2-deep-seated anchors; 3-bedding separation cracks; 4-zone of shear stress concentration and roof rock disintegration; 5-plastic hinge.

Fig.6 - Diagram of the deformed state of the near-boundary rock mass of a development roadway

4. Role of TSL Coatings.

An additional element of the combined system is the thin spray-on liner (TSL), used for rapid stabilization of rock surfaces. A thin layer of polymer or modified cement increases the overall stiffness of the excavation boundary and prevents detachment of small rock fragments. Experiments in mines in Poland and Kazakhstan have shown that TSL reduces local delamination and improves roadway stability at early stages [9].

5. Modeling and Field Data.

Numerical simulations (FLAC3D, RS2) confirm that the combination of rock bolts and PU injections reduces the width of the plastic zone and lowers stress concentration in the floor [10]. Field verification using acoustic monitoring systems (e.g., “Mikon-GEO”) and deformation markers has demonstrated good agreement between model predictions and actual measurements [11].

Thus, effective control of floor heave requires a comprehensive approach: mechanical support systems (bolts, cables) stabilize the rock mass, chemical injections increase its stiffness, and TSL provides rapid surface support. This synergy reduces the risk of support failure and extends the service life of mine workings.

Numerical Modeling of the Reinforced Zone.

1. Modeling Approaches.

The use of numerical methods (FLAC3D, RS2, UDEC) has become standard practice in assessing the effectiveness of injection-based reinforcement. Three main approaches are commonly applied:

- Equivalent reinforcement - mechanical properties of the rock mass (elastic modulus,

cohesion, internal friction angle) are increased in injection zones, allowing simulation of reinforcement effects without explicitly modeling the grout structure [1,2].

- Explicit modeling of the “bolt–grout–rock” system-contact elements are introduced

between the bolt, bonding material, and rock mass, enabling analysis of pull-out mechanisms and stress distribution [3].

- Parameterization of impregnation radius and heterogeneity-variable thickness of the

reinforced zone is modeled, reflecting real conditions where the penetration radius depends on pressure, viscosity, and fracture characteristics [4,5].

2. Model Verification.

The key objective of modeling is to ensure agreement with field measurements. For this purpose, the following data are used:

- deformation measurements (convergence, contour displacement);

- acoustic monitoring (e.g., “Mikon-GEO” systems) to detect microfracture development;

- drilling observations (gas emission rates, resin outflow from boreholes).

Studies in China and the CIS have shown that equivalent reinforcement models closely match the actual distribution of plastic zones observed during PU injection applications [6-8].

3. Modeling of Bolts and Cables.

Special attention is given to modeling fully grouted bolts and cable bolts. Modern models incorporate nonlinear behavior of the “bolt-grout-rock” system and load transfer mechanisms. Pull-out tests are used to calibrate contact parameters [9].

In the CIS, such studies were conducted in the Karaganda Coal Basin, where the performance of conventional and composite bolts was compared, with stress distribution along the rod length being analyzed [10].

4. Scenario Modeling.

Numerical experiments allow prediction of:

- optimal bolt length and spacing at different depths;

- the effect of pre-injection and local injection treatments;

- the influence of fracture anisotropy on roadway stability.

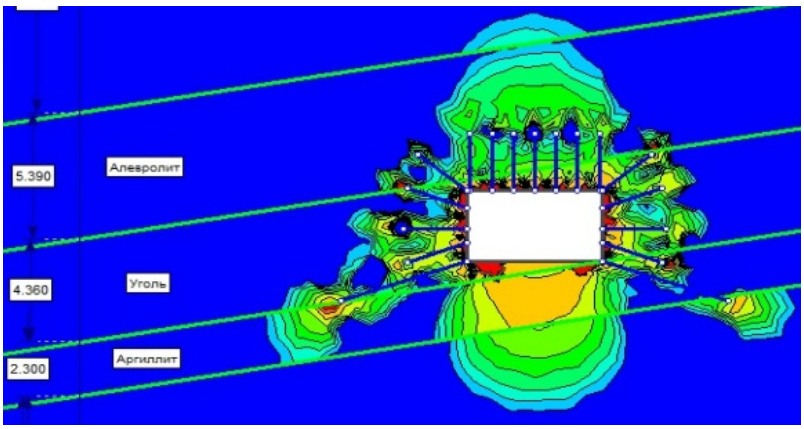


Fig.7 - Results of stress-strain state modeling for a roadway located in a coal seam with varying lengths of floor anchors from 5.0 to 6.4 m

For example, FLAC3D modeling showed that a combined system (bolts + PU injections) reduces the width of the plastic zone in the near-boundary rock mass by 25-30% compared to purely mechanical support [11].

Examples of stress distribution and plastic

deformation zones before and after injection reinforcement are presented in Figure 7. These illustrations allow comparison of numerical modeling results with field observations.

Thus, numerical modeling has become not only a predictive tool but also a means of calibrating injection parameters, thereby increasing the reliability of design solutions.

Influence on Gas Drainage and Permeability Anisotropy.

1. Role of Sealing.

One of the key effects of polyurethane resin application is the sealing of the collar and near-borehole zone of gas drainage wells. Dense filling of fractures prevents air leakage and ensures stable negative pressure within the borehole. This leads to an increase in methane concentration in the extracted gas and improves the efficiency of degasification [1-3].

2. Problem of Excessive Isolation

However, practice shows that an excessively rigid and continuous shell around the borehole may have a negative effect. The reinforced rock mass loses its filtration properties, reducing the radial gas inflow from deeper parts of the seam [4]. In some cases, a decrease in borehole productivity has been observed when using low-porosity compositions with a high expansion ratio [5].

3. Controlled Permeability Anisotropy.

To address this issue, the concept of controlled permeability anisotropy is applied. The essence of this approach is that the collar zone is reinforced as tightly as possible, while permeability is preserved in more distant zones of the rock mass by using “softer” compositions or reducing injection pressure [6,7].

This approach ensures a balance between mechanical reinforcement and maintaining pathways for methane filtration. Numerical models confirm that with isotropic sealing, the borehole quickly reaches a steady-state regime, but the overall gas flow rate is lower. In contrast, anisotropic permeability creates a more extensive drainage zone, increasing the total volume of extracted methane [8].

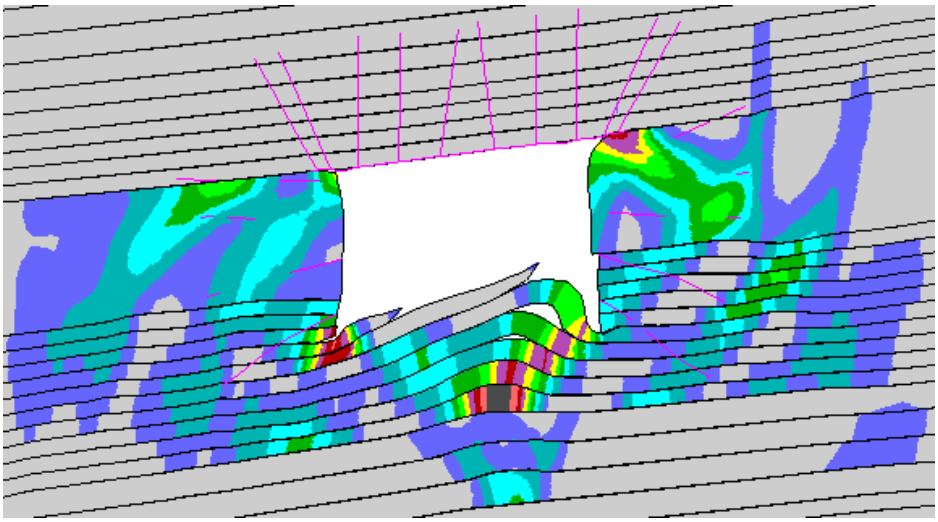


Fig.8 - Geomechanical model of the stress-strain state around the excavation

4. Application in the CIS.

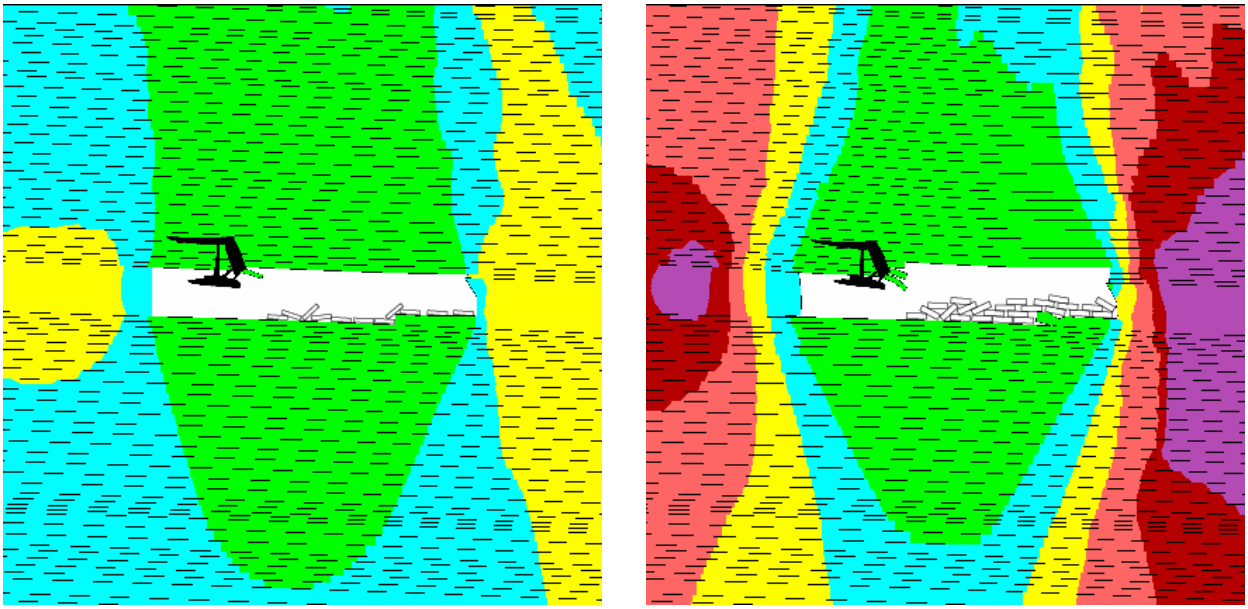
In the Karaganda Coal Basin, a combined sealing method has been developed: the borehole collar is sealed with a high-density PU composition, while at depths of 3–5 m, a lower-expansion injection is applied to preserve permeability [9].

In Kuzbass, “two-level” sealing schemes have been successfully implemented, where the upper zone performs a sealing function and the lower zone acts as a filtration barrier with controlled

conductivity.

5. Visualization.

A schematic distribution of sealing and filtration zones is shown in Figures 8 and 9. This illustration demonstrates the zoning of the rock mass around the gas drainage opening, achieving an optimal balance between strength and permeability.



Вентиляционный штрек **Конвейерный штрек**

Fig.9 - Stress distribution around roadways adjacent to the longwall face

Thus, the impact of PU injections on gas drainage is dual in nature: when properly applied, they increase methane concentration and stabilize the degasification regime, whereas excessive sealing reduces borehole productivity. Therefore, the key task is to control permeability anisotropy and to select compositions according to specific geological conditions.

Practical Case Studies and Alternative Solutions.

1. Chinese Experience.

China remains the global leader in the application of polyurethane injections in coal mines. Comprehensive technologies have been developed, including pre-injection for rock mass preparation, sealing of gas drainage boreholes, and combined support systems [1-3].

At mines in Shanxi Province, the implementation of PU reduced roof fall frequency by 35% and increased methane concentration in drainage boreholes to 80-85% [4].

2. Kazakhstan Experience.

In the Karaganda Coal Basin, polyurethane resins have been used since the early 2010s. The main sites include the Kuzembaev, Kostenko, and Abayskaya mines.

Field tests have shown that the use of “BlockPUR S” resin in junctions and conveyor roadways reduces convergence rates by 20-25% and stabilizes the roof in fractured sandstones and siltstones [5].

A separate direction involves sealing gas drainage boreholes, where a combined approach (rigid collar zone + permeable filtration zone) has demonstrated a 15-20% increase in gas flow rate [6].

3. Russian Experience.

In Kuzbass, polyurethane injections are actively used for local stabilization in tectonically disturbed zones. Combined schemes have been developed, involving preliminary injection of

cement suspensions to fill large fractures, followed by PU injection for fine crack sealing.

This approach reduced polymer consumption by 25-30% while maintaining strength levels [7].

In Vorkuta, PU injections have also been applied for sealing old workings, where they act as anti-filtration barriers.

4. Polish and European Experience

In Poland and Germany, polyurethane resins are widely used as emergency technologies for rapid rock mass stabilization in cases of sudden collapses or water inrushes [8].

Polish researchers активно apply TSL coatings as part of combined support systems. These thin-layer materials reduce support cycle time and improve safety during roadway development [9].

5. Alternative Materials.

In addition to polyurethane, the following materials are used:

- ultrafine cement suspensions (UCS)-for long-term stabilization of main roadways;

- acrylate resins-for local sealing in water inflow conditions;

- TSL coatings-for rapid surface reinforcement of roof and sidewalls.

In the CIS, cement-based materials are traditionally used for long-term stabilization, while polyurethane is applied in emergency and gas-hazardous conditions. In Europe, TSL has become widely adopted as part of standard mechanical support systems.

Thus, practical case studies confirm that no universal material exists: polyurethane is optimal for rapid response and fine fracturing, cement mixtures for durability, acrylates for waterproofing, and TSL for surface stabilization. The choice depends on geological conditions and operational priorities.

Results and Discussion.

1. Exothermicity and Durability.

Despite the high efficiency of polyurethane resins, the issue of exothermic reactions remains unresolved. Reaction temperatures can exceed 140-160 °C, leading to thermal stresses and localized coal degradation [1].

Internationally, low-exotherm formulations with heat-reducing additives are being developed; however, their widespread adoption is limited by cost and synthesis complexity [2]. In the CIS, adaptation of such materials is slower, and foreign resins are often used without proper adjustment to local geological conditions.

2. Insufficiency of Multiphysics Models.

Modern numerical models typically consider either mechanical effects (increase in stiffness) or filtration processes (permeability anisotropy). However, the coupling between **mechanics-filtration-chemistry** remains insufficiently studied [3].

In particular, the influence of PU microstructure (porosity, cellular structure) on long-term filtration properties is not fully understood. Multiphysics models could provide deeper insight but require significant computational resources and experimental calibration data.

3. Integrated Design of Support and Degasification.

Support systems and degasification measures are often designed separately. However, practice shows that excessive sealing may reduce gas extraction efficiency [4].

Therefore, an integrated approach is required, considering that support systems must both stabilize the rock mass and maintain its filtration capacity. Experiments with “two-level” sealing schemes are already being conducted in China and Kazakhstan, although standardized approaches are not yet established.

4. Need for Monitoring Standardization.

Different studies use non-comparable methods to assess injection effectiveness: some measure deformation, others gas flow, and others acoustic signals. This complicates cross-regional comparison.

A standardized protocol is required, including integrated monitoring using deformation markers, acoustic sensors, and gas flow measurements [5].

This would enable the creation of a unified database for comparative analysis.

5. Economic and Environmental Aspects.

The cost of PU resins remains a significant barrier to widespread adoption in the CIS. Meanwhile, in Europe and China, efforts are underway to develop lower-cost formulations based on recycled polymers [6].

Environmental concerns are also important: cured resins are практически non-degradable, raising issues of disposal and long-term environmental safety.

Thus, the current state of research highlights several unresolved challenges: control of exothermic reactions, development of multiphysics models, integration of support and degasification systems, standardization of monitoring, and reduction of costs alongside environmental adaptation of PU materials. Addressing these issues will determine the future development of the technology.

Conclusion. Analysis of global literature and CIS experience shows that polyurethane injections and combined support systems have become an important tool for ensuring the stability of coal mine workings under conditions of deep mining and high gas content. Their application allows the formation of a reinforced zone around the excavation, reduction of plastic zone width, stabilization of roof and floor, and improved degasification efficiency through sealing of the near-borehole space.

The key advantages of polyurethane resins remain their high penetration ability and rapid strength gain. However, their use is associated with challenges such as exothermic reactions, high cost, and the lack of standardized monitoring methodologies.

Significant practical experience has been accumulated in the CIS (e.g., “BlockPUR S” in the Karaganda Coal Basin and combined systems in Kuzbass), confirming the feasibility of adapting international technologies to local conditions.

Future research directions include:

- development of low-exotherm and environmentally safe formulations;

- implementation of multiphysics models integrating mechanics, filtration, and chemistry;

- integrated design of support and degasification systems considering controlled

permeability;

- development of unified monitoring protocols combining deformation, acoustic, and gas

measurements.

Thus, polyurethane injections and combined technologies occupy a strategically important position in improving the safety and efficiency of coal mining, and their further development remains a priority direction in mining science and practice.

Funding: *This study was supported by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan as part of the program-targeted funding for the implementation of the scientific and scientific-technical program IRN № BR28712407.*

Литература

1. Huang, D., Lu, H., Lu, X. et al. Mechanical properties and damage evolution mechanisms of filled cracked red sandstone. Comp. Part. Mech.-2025.-Vol.12.- P.2695-2711. DOI 10.1007/s40571-025-00939-8.

2. Bao R., Zhou F., Shang H., Song S. Study on key grouting blocking parameters of gas drainage boreholes in soft coal seams//Heliyon. -2024.- Vol.10(6): e28303. DOI 10.1016/j.heliyon.2024.e28303.

3. Sakhno I., Sakhno S. Numerical studies of floor heave mechanism and the effectiveness of grouting reinforcement of roadway in soft rock containing the mine water// Of Rock Vechanics and Vining Sciences.- 2023. -Vol.170:105484. DOI 10.1016/j.ijrmms.2023.105484.

4. Li W., Guo Y., Liu X., Du F. Failure mechanisms and reinforcement support of soft rock roadway in deep extra-thick coal seam: A case study//Engineering Failure Analysis. -2024.-Vol.165: 108745. DOI 10.1016/j.engfailanal.2024.108745.

5. Liang, H., Zhang, Z., Shi, Y. et al. Experimental study on surface protection support that uses polymer thin spray-on layer//Sci Rep.- 2025. -Vol.15:29027. DOI 10.1038/s41598-025-14618-4.

6. Lou Z., Wang K., Zang J., et.al. Effects of permeability anisotropy on coal mine methane drainage performance//Journal of Natural Gas Science and Engineering. -2021.-Vol.86:103733. DOI 10.1016/j.jngse.2020.103733.

7. Cheng J., Liu Y., et al. Development of non-coagulable grout long-term sealing material for gas extraction boreholes // Construction and Building Materials. - 2023. - Vol.154. P.110882. DOI 10.1016/j.inoche.2023.110882.

8. Cheng J., Fu Q., Wang Y., Ma Z., Ran D., Sheng S., Ma Y. Development of non-coagulable grout long-term sealing material for gas drainage//Inorganic Chemistry Communications. -2023.-Vol.154:110882 DOI 10.1016/j.inoche.2023.110882.

9. Танекеева Г.Д., Абеуов Е.А., Махмудов Д.Р., Мусин Р.А., Балабас А.Ю. Исследование геомеханических условий проведения и поддержания присечных горных выработок//Уголью-2023. -№ 2. -С.31-33. DOI 10.18796/0041-5790-2023-2-31-33.

10. Sadchikov A.V., Zamaliyev N.M., Akhmatnurov D.R., Mussin R.A., Ganyukov N.Yu. Application of mine geophysics method to solving problems of geology// Mining Informational and Analytical Bulletin. - 2025.-№ 6.- P.109-124.

11. Садчиков А.В., Замалиев Н.М., Ахматнуров Д.Р., Мусин Р.А., Ганюков Н.Ю. Применение методов шахтной геофизики для решения задач горно-геологического направления// MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin. - 2025. -№ (6). - С.109-124. DOI 10.25018/0236_1493_2025_6_0_109.

12. Bakhtybaev, N., Mussin, R., Alzhanov, R., Zeitinova, S. Study of Potential Failure Points of Ventilation Shafts //Studies in Science and Engineering. -2025.-Vol.5(1):295-314. DOI 10.53898/josse2025525.

13. Akhmatnurov, D. Zamaliyev, N. Mussin, R. Demin, et.al. Optimization of Reinforcement Schemes for Stabilizing the Working Floor in Coal Mines Based on an Assessment of Its Deformation State// Materials.- 2 025. Vol.18(13):3094. DOI 10.3390/ma18133094.

14. Nizametdinov F., Nizametdinov R., Akhmatnurov D., et.al. Geomechanical Basis for Assessing Open-Pit Slope Stability in High-Altitude Gold Mining //Appl. Sci.-2025.-Vol.15(15):8372. DOI 10.3390/app15158372.

15. Демин В.Ф., Абеуов Е.А.Ахматнуров Д.Р., Мусин Р.А. Замалиев Н.М. Технология применения податливых анкеров при смешанном креплении в эксплуатационных выработках// Уголью- 2025. -№ 2. - С.100-105. DOI 10.18796/0041-5790-2025-2-100-105.

References

1. Huang, D., Lu, H., Lu, X. et al. Mechanical properties and damage evolution mechanisms of filled cracked red sandstone. Comp. Part. Mech.-2025.-Vol.12.- P.2695-2711. DOI 10.1007/s40571-025-00939-8.

2. Bao R., Zhou F., Shang H., Song S. Study on key grouting blocking parameters of gas drainage boreholes in soft coal seams//Heliyon. -2024.- Vol.10(6): e28303. DOI 10.1016/j.heliyon.2024.e28303.

3. Sakhno I., Sakhno S. Numerical studies of floor heave mechanism and the effectiveness of grouting reinforcement of roadway in soft rock containing the mine water// Of Rock Vechanics and Vining Sciences.- 2023. -Vol.170:105484. DOI 10.1016/j.ijrmms.2023.105484.

4. Li W., Guo Y., Liu X., Du F. Failure mechanisms and reinforcement support of soft rock roadway in deep extra-thick coal seam: A case study//Engineering Failure Analysis. -2024.-Vol.165: 108745. DOI 10.1016/j.engfailanal.2024.108745.

5. Liang, H., Zhang, Z., Shi, Y. et al. Experimental study on surface protection support that uses polymer thin spray-on layer//Sci Rep.- 2025. -Vol.15:29027. DOI 10.1038/s41598-025-14618-4.

6. Lou Z., Wang K., Zang J., et.al. Effects of permeability anisotropy on coal mine methane drainage performance//Journal of Natural Gas Science and Engineering. -2021.-Vol.86:103733. DOI 10.1016/j.jngse.2020.103733.

7. Cheng J., Liu Y., et al. Development of non-coagulable grout long-term sealing material for gas extraction boreholes // Construction and Building Materials. - 2023. - Vol.154. P.110882. DOI 10.1016/j.inoche.2023.110882.

8. Cheng J., Fu Q., Wang Y., Ma Z., Ran D., Sheng S., Ma Y. Development of non-coagulable grout long-term sealing material for gas drainage//Inorganic Chemistry Communications. -2023.-Vol.154:110882 DOI 10.1016/j.inoche.2023.110882.

9. Tanekeeva G.D., Abeuov E.A., Mahmudov D.R., Musin R.A., Balabas A.Ju. Issledovanie geomehanicheskih uslovij provedenija i podderzhanija prisechnyh gornyh vyrabotok//Ugol’ ju-2023. - № 2. -S.31-33. DOI 10.18796/0041-5790-2023-2-31-33. [in Russian]

10. Sadchikov A.V., Zamaliyev N.M., Akhmatnurov D.R., Mussin R.A., Ganyukov N.Yu. Application of mine geophysics method to solving problems of geology// Mining Informational and Analytical Bulletin. - 2025.-№ 6.- P.109-124.

11. Sadchikov A.V., Zamaliev N.M., Ahmatnurov D.R., Musin R.A., Ganjukov N.Ju. Primenenie metodov shahtnoj geofiziki dlja reshenija zadach gorno-geologicheskogo napravlenija// MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin. - 2025. -№ (6). - S.109-124. DOI 10.25018/0236_1493_2025_6_0_109. [in Russian]

12. Bakhtybaev, N., Mussin, R., Alzhanov, R., Zeitinova, S. Study of Potential Failure Points of Ventilation Shafts //Studies in Science and Engineering. -2025.-Vol.5(1):295-314. DOI 10.53898/josse2025525.

13. Akhmatnurov, D. Zamaliyev, N. Mussin, R. Demin, et.al. Optimization of Reinforcement Schemes for Stabilizing the Working Floor in Coal Mines Based on an Assessment of Its Deformation State// Materials.- 2 025. Vol.18(13):3094. DOI 10.3390/ma18133094.

14. Nizametdinov F., Nizametdinov R., Akhmatnurov D., et.al. Geomechanical Basis for Assessing Open-Pit Slope Stability in High-Altitude Gold Mining //Appl. Sci.-2025.-Vol.15(15):8372. DOI 10.3390/app15158372.

15. Demin V.F., Abeuov E.A. Ahmatnurov D.R., Musin R.A. Zamaliev N.M. Tehnologija primenenija podatlivyh ankerov pri smeshannom kreplenii v jekspluatacionnyh vyrabotkah// Ugol’ ju- 2025. - № 2. - S.100-105. DOI 10.18796/0041-5790-2025-2-100-105. [in Russian]

Information about the authors

Zamaliyev N.- PhD, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: zamaliyevnail@gmail.com;

Dauletzhanova Zh. - PhD, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: kaliyeva_zhanna@mail.ru;

Mussin R. - PhD, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: volentaim12@gmail.com;

Shayakhmetov R.- director, Altyn Komir Service LLP, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: rustam.shayakhmetov09@mail.ru;

Akhmatnurov R. – master of engineering and technology, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: r.akhmatnurov1707@gmail.com

Сведения об авторах

Замалиев Н.М.- PhD, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: zamaliyevnail@gmail.com;

Даулетжанова Ж.Т.- PhD, , Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: kaliyeva_zhanna@mail.ru;

Мусин Р.А.- доктор философии, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: volentaim12@gmail.com;

Шаяхметов Р.Т.- директор, ТОО «Altyn Komir Service», Караганда, Казахстан, e-mail: rustam.shayakhmetov09@mail.ru;

Ахматнуров Р.Р.- магистр техники и технологий, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: r.akhmatnurov1707@gmail.com.

МРНТИ 52.13.15 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1526**

ОЦЕНКА ОБЪЕМА ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ БОЛЬШИХ РАЗМЕРОВ

[1]А.А. Зейнуллин, [2]С.А. Мустафин, [3]Т.С. Мустафин, [1]К. Копбаев

[1]ТОО «Союзгеомех», Астана, Казахстан,
[2]Институт информационных и вычислительных технологий, Алматы, Казахстан,
[3]Казахстанско - Британский технический университет, г. Алматы, Казахстан,

Корреспондент-автор: s14005434@gmail.com

Определение объема подземной выработки необходимо для учета добычи полезных ископаемых, регулирования вентиляционных потоков, расчета проветривания, для эффективной изоляции выработанных пространств и аварийных участков (в том числе при подземных пожарах) и заключается в расчете объема горной массы, необходимой для планирования работ, составления сметы и контроля расхода материалов и рассчитывается на основе метода сечений.

Актуальность знаний геометрических характеристик выработок вызвана следующими обстоятельствами: на геометрическую форму и размеры выработки напрямую влияют динамика напряженно-деформированного состояния вокруг выработки, оптимизация размеров сечения выработки снижает объемы проходческих работ и затраты на его крепление, точное знание геометрии необходимо для прогнозирования и мониторинга зон повышенного давления; минимизация затрат за счет исключения перекрепления и повышения эффективности вентиляции выработки.

Цели определения оценки объема горной выработки - оценка извлеченной породы или полезного ископаемого, контроль соблюдения проектных параметров, расчет и оптимизация объемов взрывных работ и оценка устойчивости массива для обеспечения безопасности горных работ; повышение экономической эффективности проведения и управление и оперативный мониторинг эксплуатационным состоянием выработки.

Показано, что значительное уменьшение трудоемкости определения оценки объема горной выработки большого размера может быть осуществлено за счет замены поверхности выработки множеством концов равномерно расставленных вертикалей от почвы до кровли, полученных удаленными бесконтактными измерениями.

Ключевые слова: горная выработка, форма выработки, вертикальные сечения, эллипсоид, прямоугольные призмы, вертикальные отрезки, квадратная сетка, лазерный дальномер.

ТАУ-КЕН ҚАЗБАНЫҢ КӨЛЕМІҢ БАҒАЛАУ

[1]А.А. Зейнуллин, [2]С.А. Мустафин, [3]Т.С. Мустафин, [1]К. Копбаев

[1]«Союзгеомех» ЖШС, Астана, Қазақстан,
[2]Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан,
[3]Қазақ - Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан,
e-mail: s14005434@gmail.com

Жер асты қазбалардың көлемін анықтау өндірілген пайдалы қазбаларды есепке алу, желдету ағындарын реттеу, желдетуді есептеу, өндірілген кеңістіктер мен апаттық аймақтарды тиімді оқшаулау үшін (жер асты өрттері кезінде қоса алғанда) қажет және қазбаларды жоспарлау, сметаларды дайындау және материал шығынын бақылау үшін қажетті тау жыныстары массасының көлемін есептеуден тұрады және көлденең қима әдісіне негізделіп есептеледі.

Қазбалардың геометриялық сипаттамаларын білудің өзектілігі келесі жағдайларға байланысты: қазбаның геометриялық пішіні мен өлшемдері қазбаның айналасындағы кернеу-деформация күйінің динамикасына тікелей әсер етеді, қазба көлденең қимасының өлшемдерін оңтайландыру қазбалау жұмыстарының көлемін және оны қолдану шығындарын азайтады, геометрияны дәл білу

жоғары қысымды аймақтарды болжау және бақылау үшін қажет; қайта бекіту болдырмау және жұмыс желдетуінің тиімділігін арттыру арқылы шығындарды азайту.

Таукен қазбалардың көлемін анықтаудың мақсаттары - өндірілген тау жынысының немесе пайдалы қазбаның нақты мөлшерін анықтау, жобалау параметрлерінің сақталуын бақылау, жару жұмыстарының көлемін есептеу және оңтайландыру және тау-кен жұмыстарының қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін массивтің тұрақтылығын бағалау.

Кен жұмыстарының экономикалық тиімділігін, оларды басқаруды және пайдалану мониторингін арттыру, ірі кен қазбалардың көлемін анықтаудың еңбек сыйымдылығын жұмыс бетінің қашықтан, байланыссыз өлшеулерін жерден шатырға дейін біркелкі орналасқан тік сызықтардың бірнеше ұштарымен ауыстыру арқылы айтарлықтай азайтуға болатыны көрсетілген.

Түйін сөздер: кен қазбалары, қазба пішіні, тік қималар, эллипсоид, тікбұрышты призмалар, тік сегменттер, шаршы тор, лазерлік қашықтық өлшегіш.

EVALUATION OF THE VOLUME OF A LARGE-SIZED MINING WORKING

[1]A.A. Zeinullin, [2]S.A. Mustafin, [3]T.S. Mustafin✉, [1]K. Kopbayev

[1]"Soyuzgeomekh" LLP, Astana, Kazakhstan,
[2]Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan,
[3]Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: s14005434@gmail.com

Determining the volume of underground mine workings is essential for mineral extraction accounting, ventilation flow regulation, air distribution calculations, and effective isolation of mined-out areas and emergency zones (including those affected by underground fires). This process involves calculating the volume of rock mass required for work planning, cost estimation, and material consumption control, and is performed using the cross-section method.

The relevance of understanding the geometric characteristics of mine workings arises from several factors: the dynamics of the stress-strain state around the excavation directly influence its geometric shape and dimensions; optimization of the cross-sectional dimensions reduces the volume of excavation work and associated support costs; precise knowledge of geometry is necessary for predicting and monitoring high-pressure zones; and cost minimization is achieved through the elimination of re-supporting and improved ventilation efficiency.

The objectives of mine working volume estimation include: accurate quantification of extracted rock or mineral resources; verification of compliance with design parameters; calculation and optimisation of blasting operations; assessment of rock mass stability to ensure mining safety; enhancement of economic efficiency; and operational monitoring of the working' s condition.

It is demonstrated that a significant reduction in the labour intensity of volume estimation for large-scale mine workings can be achieved by replacing the excavation surface with a set of endpoints of uniformly spaced vertical lines extending from the floor to the roof, measured using contactless methods.

Keywords: mine working, excavation geometry, vertical cross-sections, ellipsoid, rectangular prisms, vertical segments, square grid, laser rangefinder.

Введение. Разработка месторождений полезных ископаемых связана с образованием пустот большого размера, знание геометрических параметров которых является актуальной задачей и может быть использовано, например, при оценке потерь полезных ископаемых в выработках.

Одним из путей определения объемов воздуха при газовоздушных съемках на рудниках и угольных шахтах является оценка объема, проходящего в подземной выработке воздушного

потока. Помимо регулирования вентиляционных потоков и расчета проветривания, оценка объема горной выработки используется при изоляции аварийных участков и тушении пожаров, ведении закладочных работ, а также для определения объемов выработок при маркшейдерском учете добычи [1].

Известно множество процедур съемки выработок, начиная от механических приборов до ультразвуковых и фотограмметрических устройств, располагаемых в выработке.

После проведения съемки выработки одной из процедур можно дать оценку объема горной выработки, большая часть из которых основано на оценках площадей плоских поперечных равноотстоящих друг от друга параллельных вертикальных сечений выработки [1-8], на основе которых объем вычисляется методами, хорошо представленными в [9,10].

Горная геометрия содержит различные методы определения геометрических параметров месторождений, в том числе с использованием различных измерительных приборов для определения площадей поверхностей, ограниченных кривыми, используют планиметр Амслера или палетку Соболевского, либо производят вычисления по формуле Баумана для определения длины кривой, ограничивающей площадь залежи, обычно используют курвиметр, либо мерную нить.

При решении многих инженерно-технических задач в различных разделах горной дела часто используют геометрический параметр площади криволинейных поверхностей рудных полей, тел, площадей контакта различных горных пород, площадей поверхностей горных выработок, либо частей этих поверхностей, которые, ввиду отсутствия в горной геометрии данной методики расчетов, определяют весьма приближенно, пользуясь простыми геометрическими уравнениями. Для применения методов высшей математики, например, интегрального исчисления, необходим большой объем данных, что усложняет процесс вычислений и делает такую методику малопрактичной для горного дела [9].

Цель работы - уменьшение трудоемкости процесса оценки объема выработки в подземных условиях.

Материалы и методы. В горной практике используются разнообразные методы и инструменты для измерения геометрических параметров выработок. В настоящей статье на основе анализа опубликованных источников рассмотрим некоторые из них.

1. Общеизвестен способ определения площади поперечного сечения горной выработки большого объема [2,3], заключающийся в том, что измеряют линейные размеры в плоскости поперечного сечения, разбивают криволинейную поверхность поперечного сечения на секторы с переменными радиусами, выбирают базовую точку в плоскости поперечного сечения, вычисляют площадь поперечного сечения горной выработки, при этом базовую точку выбирают на высоте 1,2-1,5 м от почвы и на расстоянии 2-5 м от одного из бортов выработки, в которой размещают измеритель углов и расстояний в плоскости перпендикулярно оси выработки, дополнительно разбивают площадь поперечного сечения с линейными контурами на треугольники, от базовой точки измеряют расстояния до вершин треугольников линейного контура поперечного сечения и углы треугольников при базовой точке с переменным шагом 20-120°, вычисляют площадь поперечного сечения горной выработки по формуле, содержащей указанные параметры, далее, по ряду равноотстоящих друг от друга поперечных сечений горной выработки определяют объем выработки, т.е. предложено применять для вычисления объемов всех видов изучаемых тел метод вертикальных сечений, учитывающий изменения площади и конфигурации сечений по выбранному направлению - горную выработку разбивают равноотстоящими друг от друга поперечными сечениями на характерные объемные элементы, определяют площади сечений, объем каждого элемента и суммируют объемы элементов при оценке объема всей выработки.

Указанный способ обладает рядом недостатков и характеризуется высокой трудоемкостью, недостаточной точностью определения по сле-

дующим причинам:

- возможность отклонения от плоскости, в которой проводятся измерения углов и линейных размеров, что приводит к увеличению погрешностей при измерениях и к искажению конечного результата;

- аппроксимация части поперечного сечения, имеющей прямолинейные элементы контура, треугольниками и определение углов треугольников, что также увеличивает суммарную погрешность при определении площади поперечного сечения;

- образование неохваченных зон плоскости сечения, например, под базовой точкой и подошвой выработки;

- измерение углов и длин радиусов - отрезков через фиксацию точек по периметру сечения выработки.

Вышеперечисленные причины снижают точность и скорость расчета объема горной выработки, повышают трудоемкость процесса определения объема горной выработки.

2. Богайчук А.В. и Осиян М.А. [8], отказавшись от наиболее распространённых и применяемых на практике форм вывалов горной массы, предложили метод вычисления объема вывалов в горных выработках, по которому определение объемов вывалов породы в кровле и боках протяженных горных выработок сводится к моделированию формы навала, измерению расчетных параметров геометрической трехмерной фигуры, вычислению площадей поперечного сечения по известным формулам и суммарного объема вывала в зависимости от его длины. При этом авторы считают, что наиболее универсальным и достоверным представляется метод вертикальных сечений, моделирующий форму сечения вывала в виде полуэллипса, что соответствует наиболее распространенным проявлениям геодинамических процессов в горных выработках.

Предлагаемая процедура оценки суммарного объема вывалов горной массы из кровли и боков выработки методом вертикальных сечений состоит из следующих шагов:

- измеряют линейные параметры H и $B/2$ каждого выбранного вертикального сечения навала с помощью лазерного дальномера и рулетки ВНИМИ;

- вычисляют площади выбранных сечений как полуэллипсов по формуле $S_{сеч} = \frac{\pi \times H \times B}{4}$ и находят средневзвешенную площадь сечения навала $S_{сред}$;

- замеряют длину вывала L проводят с помощью лазерного дальномера и рулетки;

- вычисляют суммарный объем вывалов по формуле $V_{выв} = S_{сред} \times L$.

Основная идея состоит в применение метода вертикальных равноотстоящих друг от друга параллельных сечений выработки, при котором завал принимается близким к полуэллипсоидному профилю, что позволяет оценить рассчитанный объем.

Используются линейные легкоизмеряемые параметры: L (длина), B (ширина), H (высота) навала; форма вывала моделируется как полуэллипсоид, что характерно для нарушений кровли и боков выработок; метод эффективен для оценки объема обрушившейся породы при нарушении крепления в подготовительных и очистных выработках; основан на предположении полуэллипсоидной форме вывала и методе вертикальных равноотстоящих друг от друга параллельных сечений вывала.

Э тот метод позволяет оперативно рассчитывать объемы обрушившейся породы для ликвидации последствий обрушений.

3. Графо-математический метод Бессонова [7] описывает пошагово этапы точного расчета ряда геометрических параметров тела. Он объединяет графическое изображение рудных тел с математическими расчетами для определения площади, объема и периметра, что оптимизирует подсчет запасов полезных ископаемых, применим в геологии и горном деле для оценки запасов. Он выделяется общностью рассмотрения, трудоемкостью построений, сложностью измерений и выполнением расчетов на ЭВМ. Судя по публикациям, широкого распространения не получил.

Задачей, предлагаемой модели является раз-

работка оценки объема горной выработки, обеспечивающего повышение скорости, точности и снижение трудоемкости оценки.

Оценка объема горной выработки, содержащая выполнение линейных замеров в пределах горной выработки, состоит в следующем. С помощью лазерного дальномера *размечают* квадратную сетку на почве выработки и *определяют* длины вертикалей от центра каждой *внутренней* ячейки (полностью лежащей на почве выработки) до кровли выработки; далее *оценивают* искомый объем горной выработки суммой объемов *правильных прямых призм*, в нижних основаниях которых находятся *внутренние* ячейки (полностью лежащие на почве выработки), а высоты призм равны соответствующим длинам вертикалей или *произведением* суммы длин вертикалей от центров ячеек сетки до кровли на площадь ячейки.

Это оценка объема горной выработки - $V(м^3)$.

Предлагаемое решение обеспечивает низкую трудоемкость, повышение скорости и точность оценки объема горной выработки.

Таким образом, оценка объема горной выработки больших размеров сводится к моделированию формы горной выработки концами равномерно расставленных вертикальных отрезков на почве выработки согласно квадратной сетке, измерению линейных параметров выработки, вычислению объемов элементов выработки и суммарного объема выработки.

Оценка объема горной выработки, содержащая линейные легкодоступные замеры в пределах выработки, состоит из следующих этапов:

- проведение разметки квадратной сетки на почве выработки с помощью лазерного дальномера;

- определение с помощью лазерного дальномера длины вертикалей от каждого центра внутренних ячеек (полностью лежащих на почве выработки) до кровли выработки;

- оценка искомого объема горной выработки суммой объемов правильных прямых призм, в основании которых находятся ячейки, а высоты равны соответствующим длинам вертикалей или произведением суммы длин вертикалей от центров внутренних ячеек до кровли на площадь ячейки.

Формальная запись оценки объема выработки такова

$$V = s \times (\sum_{i=1}^{k} h_i),$$

где

V - объем горной выработки $(м^3)$;

s - площадь ячейки квадратной сетки, накладываемой на почву выработки $(м^2)$;

k - число ячеек квадратной сетки, полностью лежащих на почве выработки;

h_i - длина вертикали от центра ячейки i сетки до кровли выработки (м), $i = 1, k$.

Оценка обеспечивается за счет использования лазерного дальномера для разметки квадратной сетки на почве выработки и определения длин вертикалей от центров внутренних сеточных ячеек (полностью лежащих на почве выработки) до кровли выработки.

Это позволяет значительно сократить скорость расчетов, уменьшить затраты на организацию проведения работ по измерению углов и линейных размеров выработки лазерным дальномером, например, строительным лазерным дальномером Bosch GLM 40 Professional.

Обсуждение и результаты. Предлагаемое решение обеспечивает снижение трудоемкости способа оценки объема горной выработки - уменьшение затрат и времени на ручные измерения, что позволяет эффективно управлять точностью оценки объема выработки. Использование лазерного дальномера позволяет варьировать шаг квадратной сетки, что повышает точность оценки объема выработки и значительно сокращает время пребывания оператора в выработке.

Расчеты на модельных примерах показали, что использование предлагаемого метода для оценки объема горной выработки, дает возможность управлять величиной ошибки измерения

объема горной выработки, сокращает временные затраты, значительно упрощает измерение линейных элементов горных выработок и позволяет отказаться от громоздких операций по использованию устройств измерения длин отрезков, что уменьшает объем ручных измерений.

Метод оценки объема горной выработки, основанный на линейных замерах, при котором с помощью лазерного дальномера на почве размечают квадратную сетку. Объем вычисляется путем определения суммы длин вертикалей, проведенных от центров всех полных (внутренних) ячеек на почве выработки до кровли, и последующим умножением полученной суммы на площадь ячейки.

Предлагаемый метод является более универсальным, достоверным и практичным по следующим причинам:

- используются линейные легкоизмеряемые параметры;

- поверхность выработки моделируется множеством концов равномерно расставленных вертикалей от почвы до кровли и слабо зависит от формообразования выработок;

- эффективен для оценки объема выработки за минимальное время нахождения оператора в выработке;

- экономичен;

- возможность управлять точностью.

Моделирование показало, что значительное уменьшение трудоемкости определения оценки объема горной выработки большого размера возможно с применением лазерного дальномера за счет замены поверхности выработки множеством концов равномерно расставленных друг от друга вертикалей от почвы до кровли.

Выводы. В работе рассмотрена модель оценки объема горной выработки неправильной формы больших размеров. Необходимость определения объема подземной выработки возникает при учете добычи полезных ископаемых, регулировании вентиляционных потоков, при расчете проветривания, а также для эффективной изоляции выработанных пространств и аварийных участков. Метод основан на аппроксимации объема выработки суммой объемов элементарных плотно упакованных тел, принадлежащих выработке. Такой подход обеспечивает снижение трудоемкости оценки, увеличение скорости расчетов и управление точностью оценки. Знание геометрических характеристик горных выработок критически важно для обеспечения безопасности и экономической эффективности. В отличие от традиционных подходов, предложенный метод основан на представлении поверхности выработки множеством концов равномерно расположенных вертикальных отрезков от почвы до кровли. Определение оценки объема сводится к измерению геометрических параметров такого представления и последующему расчету объема на основе суммы длин вертикалей.

Предложенный подход, основанный на интегральном исчислении, уменьшает критические недостатки ранее предложенных подходов, такие как накопление ошибок округления и высокая чувствительность к входным данным, трудоемкость, время исполнения.

Описанная модель является дополнением к множеству моделей оценки объемов горных выработок большого размера.

Литература

1. Руководство по производству депрессионных и газовых съемок в угольных шахтах/М.: Недра. -1975. - 2.п.л.

2. Методики классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов, инструкций по подсчету запасов полезных ископаемых, в том числе относящихся к нетрадиционным углеводородам: приказ и.о. Министра индустрии и инфраструктурного развития РК от 02.02.2023 № 71. -2023. -№ 31839. URL: https://www.gov.kz. -Дата обращения: 20.12.2025.

3. Бессонов Е.А. Технология и механизация гидромеханизированных работ: справ. пособие для инженеров и техников/ Центр. -1999. -542 ISBN 5-88860-057-1.

4. Качурин Н.М., Комиссаров М.С., Качурин А.Н., Власов Д.В. Способ определения площади поперечного сечения горной выработки большого объема: пат. РФ № 2463551, МПК G01B 5/26; о-публ.10.10.2012.

5. Мустафин С.А., Арсланов М.З., Дузбаев Т., Зейнуллин А.А., Мустафин Т.С. Способ определения площади поперечного сечения горной выработки: патент на полезную модель РК № 309175, МПК G01B 5/26; опубл.24.05.2019.

6. Бессонов Е.А. Вычисление геометрических параметров криволинейных тел и устройство для его осуществления: пат. № 2 148 787 Рос. Федерация / № 97116570/28; опубл.10.05.2000 // Изобретения. Заявки и патенты. -2000. -№ 13. -С. 338.

7. Бессонов Е.А. Графо-математический метод определения геометрических параметров месторождений полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень/МГГУ. -1997. -№ 1. -С.151–153.

8. Богайчук А.В., Осиян М.А. Метод вычисления объема вывалов в горных выработках // Горный журнал РФ. -2008. -№ 6. -С.46–48.

9. Лекции об объеме, площади поверхности и изопериметрии / пер. с нем. Солодовникова А.С., Сироты А.И./Наука. -1966. -416 с.

10. Bronshtein I. N., Semendyayev K. A., Musiol G., Mühlig H. Handbook of Mathematics. -6th ed. /Berlin: Springer. -2015. -1207 p. ISBN 978-3-662-46220-1; ISBN 978-3-662-46221-8.

References

1. Rukovodstvo po proizvodstvu depressionnyh i gazovyh s#emok v ugol’ nyh shahtah/M.: Nedra. -1975. - 2.p.l. [in Russian]

2. Metodiki klassifikacii zapasov mestorozhdenij i prognoznyh resursov, instrukcij po podschetu zapasov poleznyh iskopaemyh, v tom chisle otnosjashhihsja k netradicionnym uglevodorodam: prikaz i.o. Ministra industrii i infrastrukturnogo razvitija RK ot 02.02.2023 № 71. -2023. -№ 31839. URL: https://www.gov.kz. -Data obrashhenija: 20.12.2025. [in Russian]

3. Bessonov E.A. Tehnologija i mehanizacija gidromehanizirovannyh rabot: sprav. posobie dlja inzhenerov i tehnikov/ Centr. -1999. -542 ISBN 5-88860-057-1. [in Russian]

4. Kachurin N.M., Komissarov M.S., Kachurin A.N., Vlasov D.V. Sposob opredelenija ploshhadi poperechnogo sechenija gornoj vyrabotki bol’ shogo ob#ema: pat. RF № 2463551, MPK G01B 5/26; opubl.10.10.2012. [in Russian]

5. Mustafin S.A., Arslanov M.Z., Duzbaev T., Zejnullin A.A., Mustafin T.S. Sposob opredelenija ploshhadi poperechnogo sechenija gornoj vyrabotki: patent na poleznuju model’ RK № 309175, MPK G01B 5/26; opubl.24.05.2019. [in Russian]

6. Bessonov E.A. Vychislenie geometricheskih parametrov krivolinejnyh tel i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija: pat. № 2 148 787 Ros. Federacija / № 97116570/28; opubl.10.05.2000 // Izobretenija. Zajavki i patenty. -2000. -№ 13. -S.338. [in Russian]

7. Bessonov E.A. Grafo-matematicheskij metod opredelenija geometricheskih parametrov mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten’/MGGU. -1997. -№ 1. -S.151-153. [in Russian]

8. Bogajchuk A.V., Osijan M.A. Metod vychislenija ob#ema vyvalov v gornyh vyrabotkah // Gornyj zhurnal RF. -2008. -№ 6. -S.46–48. [in Russian]

9. Lekcii ob ob#eme, ploshhadi poverhnosti i izoperimetrii / per. s nem. Solodovnikova A.S., Siroty A.I./Nauka. -1966. - 416 s. [in Russian]

10. Bronshtein I. N., Semendyayev K. A., Musiol G., Mühlig H. Handbook of Mathematics. -6th ed. /Berlin: Springer. -2015. -1207 p. ISBN 978-3-662-46220-1; ISBN 978-3-662-46221-8.

Сведения об авторах

Зейнуллин А. А.- д.т.н., проф., ТОО «Казгеосервис», Астана, Казахстан; e-mail: karim_57@mail.ru;

Мустафин С. А.- к.т.н., асс. проф., Институт информационных и вычислительных технологий МНВО РК, Алматы, Казахстан, e-mail: mustafinsal@mail.ru;

Мустафин Т. С.- Senior – lecturer, Казахстанско - Британский технический университет, Алматы, Казахстан,

e-mail: s14005434@gmail.com;

Копбаев К.- руководитель, ТОО «Казгеосервис», Астана, Казахстан, e-mail: copbaevkairat@yandex.kz.

Information about the authors

Zeinullin A.A.- Doctor of Technical Sciences, prof.,”Soyuzgeomekh” LLP, Astana, Kazakhstan,

e-mail: karim_57@mail.ru;

Mustafin S.A.- Candidate of Technical Sciences, Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan, e-mail: mustafinsal@mail.ru;

Mustafin T.C.-Senior-lecturer, Kazakh British Technical University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: s14005434@gmail.com

Kopbayev K.- head, ”Soyuzgeomekh” LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: copbaevkairat@yandex.kz

ҒТАМР 06.01.11 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1296**

ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ КӘСІПОРЫНДАРДЫҢ СТРАТЕГИЯЛЫҚ ДАМУЫНА ЖОБАЛЫҚ БАСҚАРУДЫ ИНТЕГРАЦИЯЛАУ

[1]Н.Н. Нурмухаметов, [2]Г. Ислям, [1]Н.Т. Шайкенова, [3]Ж. Бабажанова, [4]Б.К. Нурмаганбетова

[1]С.Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан,
[2]Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан,
[3]Қазақ ұлттық хореография академиясы, Астана, Қазақстан,
[4]Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан

Корреспондент-автор: nurgul_12.1972@mail.ru

Бұл мақалада авторлар энергетикалық сектор кәсіпорындарын стратегиялық жоспарлау шеңберінде жобалық басқарудың қолданылуын талдайды. Мақсат - кәсіпорынды жаңғыртудың тиімділігін анықтау үшін көрсеткіштерді есептеу және талдау. Зерттеу нысаны ретінде ТОО «АЭС Ульба ТЭЦ» қарастырылған. Авторлар жобалық басқару мен стратегиялық жоспарлау саласындағы ғылыми әдебиеттерді жан-жақты шолып, талдау жүргізді.

Зерттеу барысында стратегиялық жоспарлау жобалық басқару аясында өзара байланысқан алты басқару процесінен тұратын динамикалық жүйе ретінде қарастырылғаны анықталды. Бұл процестер логикалық тізбектілікпен бір-бірінен туындайды және бір-біріне өзара ықпал етеді.

Кәсіпорынның жұмыс тиімділігінің төмендеу деңгейін бағалау үшін тізбекті алмастыру әдісі қолданылып, факторлардың әсер ету дәрежесі есептелді. Нәтижесінде котлоагрегаттардың жұмыс уақытын қысқарту салдарынан жеткілікті жылу энергиясының өндірілуі қамтамасыз етілмегені анықталды.

Зерттеу көрсеткендей, негізгі факторлардың - котлоагрегаттардың жұмыс көлемі мен сыртқы құбырлардағы жылу шығыны - өзгеруі өндірістік процестің тиімділігін тікелей әсер етеді. Атап айтқанда, бұл өзгерістер қазандықтардың өндірілетін қуатын, олардың жүктемесін және тұтынушыға жеткізілетін пайдалы жылу мен ыстық судың көлемін өзгертеді. Осыған орай, авторлар турбоагрегатты жаңғырту жобасын ұсынды, бұл кәсіпорынның тиімділігін арттыруға және өндірістік көрсеткіштерді оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: жобалық басқару, стратегиялық жоспарлау, энергетикалық кәсіпорын, тұрақты даму, әсер ететін факторлар, жаңғырту, ақаулар, мақсаттар, ресурстар, кәсіпорын талдауы.

ИНТЕГРАЦИЯ ПРОЕКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СТРАТЕГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

[1]Н.Н. Нурмухаметов, [2]Г. Ислям, [1]Н.Т. Шайкенова, [3]Ж. Бабажанова, [4]Б.К. Нурмаганбетова

[1]Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, Астана, Казахстан,
[2]Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан,
[3]Казахская национальная академия хореографии, Астана, Казахстан,
[4]Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан,
e-mail: nurgul_12.1972@mail.ru

В данной статье авторы рассматривают применение проектного управления в стратегическом планировании предприятий энергетической отрасли. Основная цель исследования - провести анализ и расчет показателей для оценки эффективности модернизации энергетического предприятия. Объектом исследования выступает ТОО «АЭС Ульбинский ТЭЦ».

В результате исследования систематизированы различные подходы по вопросам проектного управления в стратегическом планировании в контексте цифровой экономики. В ходе анализа уста-

новлено, что стратегическое планирование в рамках проектного управления представляет собой динамическую систему, состоящую из шести взаимосвязанных управленческих процессов, логически вытекающих друг из друга. Каждый из этих процессов оказывает влияние на остальные, формируя непрерывную обратную связь.

Для определения степени снижения эффективности работы предприятия был применен метод цепного замещения, с помощью которого рассчитано влияние ключевых факторов. Результаты показали, что сокращение времени работы котлоагрегатов привело к недостаточному производству тепловой энергии.

Анализ выявил, что изменения основных факторов - таких как продолжительность работы котлоагрегатов и теплопотери в наружных трубопроводах – оказывают существенное влияние на производственный процесс. В частности, это отражается на мощности котлов, уровне их загрузки, а также на объеме полезной тепловой энергии и горячей воды, поставляемых потребителям. В связи с этим авторами предложен проект модернизации турбоагрегата, направленный на повышение эффективности предприятия и оптимизацию производственных показателей.

Ключевые слова: проектное управление, стратегическое планирование, энергетическое предприятие, устойчивое развитие, влияющие факторы, модернизация, дефекты, цели, ресурсы, анализ предприятия.

INTEGRATION OF PROJECT MANAGEMENT INTO THE STRATEGIC DEVELOPMENT OF ENERGY ENTERPRISES

[1]N.N. Nurmukhametov, [2]G. Islyam, [1]N.T. Shaikenova✉, [3]Zh. Babazhanova, [4]B.K. Nurmaganbetova

[1]S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan,
[2]D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,
[3]Kazakh National Academy of Choreography, Astana, Kazakhstan,
[4]Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan,
e-mail: nurgul_12.1972@mail.ru

In this article, the authors examine the application of project management in the strategic planning of energy industry enterprises. The main objective of the study is to analyze and calculate indicators to assess the efficiency of modernization of an energy enterprise. The object of the study is LLP “Ulba CHP”.

As a result of the research, various approaches to project management in strategic planning within the context of the digital economy have been systematized. The analysis revealed that strategic planning within project management constitutes a dynamic system consisting of six interconnected management processes, logically derived from one another. Each of these processes influences the others, forming a continuous feedback loop.

To determine the degree of decline in the enterprise’s operational efficiency, the chain substitution method was applied, which allowed calculating the impact of key factors. The results showed that the reduction in boiler unit operating time led to insufficient production of thermal energy.

The analysis also revealed that changes in the main factors – such as the operating duration of boiler units and heat losses in external pipelines – significantly affect the production process. Specifically, these changes impact boiler capacity, load levels, and the volume of useful thermal energy and hot water supplied to consumers. In this regard, the authors proposed a project for the modernization of the turbogenerator, aimed at improving enterprise efficiency and optimizing production indicators.

Keywords: project management, strategic planning, energy enterprise, sustainable development, influencing factors, modernization, defects, objectives, resources, enterprise analysis.

Кіріспе. Энергетикалық кәсіпорындарда стратегиялық дамуды қамтамасыз ету қазіргі экономикалық трансформация, ресурстық шектеулер және технологиялық жаңғыру жағдайында ерекше маңызға ие болып отыр. Соңғы жылдары энергия өндіру мен тұтыну құрылымындағы өзгерістер, жабдықтардың моральдық және физикалық тозуы, климаттық тәуекелдердің күшеюі кәсіпорындардың басқару жүйелеріне жаңа талаптар қоюда. Осындай жағдайларда стратегиялық жоспарлау тек ұзақ мерзімді даму бағыттарын айқындайтын құрал емес, сонымен қатар тұрақты және тиімді жұмыс істеуді қамтамасыз ететін басқарушылық механизмге айналуда.

Зерттеудің негізгі мақсаты - энергетикалық кәсіпорындардың стратегиялық даму жүйесіне жобалық басқаруды интеграциялау мүмкіндіктерін ғылыми негіздеу және өндірістік тиімділікті арттыруға ықпал ететін басқарушылық тетіктерді айқындау. Осы мақсатқа сәйкес зерттеу барысында энергетикалық кәсіпорындардағы стратегиялық жоспарлау құрылымы талданып, өндірістік көрсеткіштердің өзгерісіне әсер ететін факторлар анықталды, сондай-ақ кәсіпорынды жаңғырту бойынша жобалық шешімдердің тиімділігі бағаланды.

Бүгінгі таңда жобалық басқаруды стратегиялық жоспарлау жүйесіне интеграциялау энергетикалық кәсіпорындардың бәсекеге қабілеттілігін арттыруда және өндірістік көрсеткіштерін оңтайландыруда басты факторлардың бірі болып табылады. Жобалық басқару әдістемелері кәсіпорынға стратегиялық мақсаттарды нақты жобалар деңгейінде жүзеге асыруға, ресурстарды тиімді бөлуге, тәуекелдерді басқаруға, сондай-ақ цифрлық технологияларды енгізу арқылы өндірістік процестердің икемділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Энергетика саласының ерекшелігі – өндірістік циклдердің күрделілігі мен капитал сыйымдылығы, технологиялық жабдықтардың ұзақ қызмет ету мерзімі және олардың жоғары сенімділік талаптары. Осыған байланысты стратегиялық даму мен жобаларды басқарудың өзара байланысын күшейту кәсіпорынның экономикалық тұрақтылығын, энергия тиімділігін және экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз етудің негізгі алғышарттарының біріне айналды.

Дегенмен қазіргі зерттеулерде энергетикалық кәсіпорындардағы жобалық басқару мен стратегиялық жоспарлаудың интеграциялық моделін қалыптастыру мәселесі әлі де толық шешімін тапқан жоқ. Әсіресе, өндірістік қуаттарды жаңғырту, техникалық-технологиялық қайта жарақтандыру, цифрландыру және энергия тиімділігін арттыру сияқты стратегиялық бағыттарды басқаруда жобалық тәсілдің рөлі жеткілікті деңгейде зерделенбеген.

Осы тұрғыдан алғанда, жобалық басқарудың стратегиялық жоспарлаумен өзара ықпалдастығын ғылыми негізде қарастыру, оның энергетикалық кәсіпорындардағы тиімділігін дәлелдеу және оны тәжірибеге енгізу бойынша ұсыныстар әзірлеу зерттеудің өзектілігін айқындайды. Бұл мәселенің практикалық мәні де зор, өйткені жобалық басқару элементтерін енгізу ірі энергетикалық активтердің жаңғыртылу жобаларын тиімді жоспарлауға, инвестициялық бағдарламалардың нәтижелілігін арттыруға және өндірістік процестердің тұрақтылығын нығайтуға мүмкіндік береді.

Материалдар мен әдістер. Стратегиялық жоспарлау кәсіпорынның ұзақ мерзімді миссиясы мен мақсаттарын анықтау, приоритеттерді белгілеу және ресурстарды тиімді бөлу үшін жоғары буын басқарушыларының жүзеге асыратын маңызды функциясы.

Бұл процесс қаржы, маркетинг, өндіріс, жабдықтау және адами ресурстар бөлімдерінің қызметін біртұтас жүйеге біріктіріп, ұйымның бәсекелестік артықшылықтарын нығайтуға бағытталған. Бюджеттік әлеуетті арттыру шеңберінде салықтық түсімдерді әкімшілендіруді жетілдіру және бюджет-салық саласында бірыңғай ақпараттық кеңістікті кезең-кезеңімен қалыптастыру маңызды [1]. Жобадағы өзгерістерді басқару барлық ішкі және сыртқы факторларды ескеретін, өзгерістерді болжауды, олардың ықпалын бағалауды және жобаның барлық кезеңінде үйлестіруді қамтитын интеграциялық үдеріс ретінде қарастырылуы тиіс [2]. Бұл үдеріс кәсіпорынның даму стратегиясымен тікелей байланысты

болуы қажет, себебі стратегиялық мақсаттар өзгерістердің бағыты мен басымдықтарын айқындайды.

Стратегиялық мақсаттарға қол жеткізу мемлекеттік басқару жүйесінің тиімділігіне, стратегиялық жоспарлау мен фискалдық саясаттың іске асырылуына тәуелді [3]. Осы тұрғыда жобалық басқару стратегиялық жоспарлаудың негізгі құралдарының бірі болып табылады, себебі ол жобаларды жоспарлау, басымдықтарды анықтау және жүзеге асыру тетіктерін ұсынады. Энергетикалық кәсіпорындар үшін бұл тәсіл ерекше маңызды, өйткені сала ірі инвестициялық және инфрақұрылымдық жобалармен, сондай-ақ инновациялық шешімдермен тығыз байланысты [4].

Қазіргі кезеңде энергетика саласында стратегиялық басқарудың маңызы артып келеді. Мәселен, Karaszewski (2022) стратегиялық жоспарлаудың энергия саласындағы басқарудағы рөлін атап өтсе [1], Piwowar-Sulej (2023) жобалық басқару мен жаңартылатын энергия арасындағы өзара байланысты талдайды [4]. Ал Krog және әріптестер (2019) Даниядағы стратегиялық энергетикалық жоспарлаудың әдістемесін жетілдіру жолдарын ұсынады [2]. Қазақстандық тәжірибеде стратегиялық және жобалық басқарудың интеграциясы әлі де терең зерттелу үстінде, дегенмен кейбір еңбектерде жобалық басқарудың стратегиялық жоспарлаудағы рөлі айқындала бастады.

Осы зерттеудің мақсаты - Қазақстандағы энергетика кәсіпорындарында стратегиялық жоспарлауда жобалық басқару құралдарын пайдалану арқылы инновациялық-инвестициялық қызметті күшейтудің әдістемелік негізін қалыптастыру. Бизнес-модельдің тиімділігін бағалау компания мақсаттарына қол жеткізу деңгейін және табысқа әсер ететін факторларды анықтауға мүмкіндік береді [5], әрі стратегиялық мақсаттар мен операциондық қызметтің үйлесуін қамтамасыз етеді [6].

Зерттеу стратегиялық және жобалық басқарудың өзара әрекетін талдап, оларды интеграцияланған жүйе ретінде қолдану бойынша практикалық ұсыныстар әзірлеуге бағытталған. Бұл ретте теориялық негіздер , халықаралық тәжірибе және Қазақстандық энергетикалық кәсіпорындарға арналған жобалық басқару архитектурасын қалыптастыру мәселелері қарастырылады [7]. Нәтижесінде ресурстарды тиімді пайдалану, стратегиялық жоспарлардың орындалуын арттыру және тәуекелдерді азайту көзделеді.

Осылайша, стратегиялық жоспарлау мен жобалық басқаруды біріктіретін жүйелі тәсіл Қазақстан энергетика саласының тұрақты дамуын қамтамасыз етіп, ұзақ мерзімді бәсекелестік артықшылықтар мен тәуекелдерді тиімді басқаруға мүмкіндік береді [8,9].

Мақала дайындалған кезде әдістемелік негіз ретінде жобалық басқарудың теориялық концепциялары мен практикалық тәжірибелері, сондай-ақ Қазақстандық және халықаралық ғалымдардың стратегиялық жоспарлау саласындағы зерттеулері қолданылды. Зерттеуде әртүрлі ғылыми әдістерге сүйенілді: эмпирикалық зерттеу, абстрактілілогикалық талдау, экономикалық және математикалық бағалау тәсілдері, сондай-ақ салыстырмалы, көрнекі, графикалық және статистикалық әдістер. Эмпирикалық бөлім қолда бар статистикалық мәліметтерді жүйелі түрде талдаудан тұрып, алынған деректер зерттеу мақсаттарына сәйкестігі тұрғысынан салыстырылды.

Сонымен қатар, кәсіпорын тиімділігінің төмендеу деңгейін анықтау үшін факторлардың әсерін тізбекті алмастыру әдісі арқылы бағалау жүргізілді, бұл тәсіл зерттеуге аналитикалық нақтылық қосып, басқарушылық шешімдер қабылдау процесін тиімді етуге мүмкіндік берді.

Сондай-ақ, кәсіпорынның тиімділігінің төмендеу дәрежесін анықтау үшін факторлардың әсер ету деңгейін тізбекті алмастыру әдісі арқылы есептеу жүргізілді.

Факторлардың абсолюттік әсерлерінің қосындысы жинақтаушы көрсеткіштің абсолюттік өзгерісіне тең болуы тиіс, яғни факторлық индекстердің көбейтіндісі жинақтаушы көрсеткіштің индексін құрайды:

$$J_э = J_р \times J_ч \times J_k \quad (1)$$

Негізгі деректер негізінде жинақтаушы көр-

сеткіштің өзгеруіне айтарлықтай әсер ететін факторлар туралы қорытынды жасалады.

Авторлар жылу жеткізудің өзгеруіне әсер ететін факторларды есептеп шықты:

$$\Delta Э_{otp} = \Delta Э_{r} + \Delta Э_{ch} + \Delta Э_{к} \qquad (2)$$

Зерттеу нәтижелері негізінде объектінің одан әрі дамуын қолдаудың маңыздылығы туралы тұжырымдар жасалды. Қазіргі кезеңде стратегиялық мақсаттарды талдау факторлық әдістің тиімділігін көрсетті және ол дағдарыс жағдайында басқарушылық шешімдер қабылдауды айтарлықтай жақсартуға мүмкіндік береді.

Нәтижелер мен талқылау. Қазіргі заманда энергетикалық секторда стратегиялық жоспарлау жобалық басқарудың тиімділігімен тығыз байланысты. Капиталдық шығындардың жоғары болуы және жабдықтардың ұзақ қызмет ету мерзімі жағдайында кәсіпорындар тәуекелдерді азайтуға, шығындарды оңтайландыруға және энергия жеткізудің сенімділігін арттыруға мәжбүр. Котелдер мен турбогенераторлардың жұмыс уақыты, жылу желілеріндегі жылу жоғалтулар сияқты эксплуатациялық деректерді талдау өндірістік процестердегі таршылықтарды анықтап, жабдықты жаңғыртуды негіздеп жоспарлауға мүмкіндік береді.

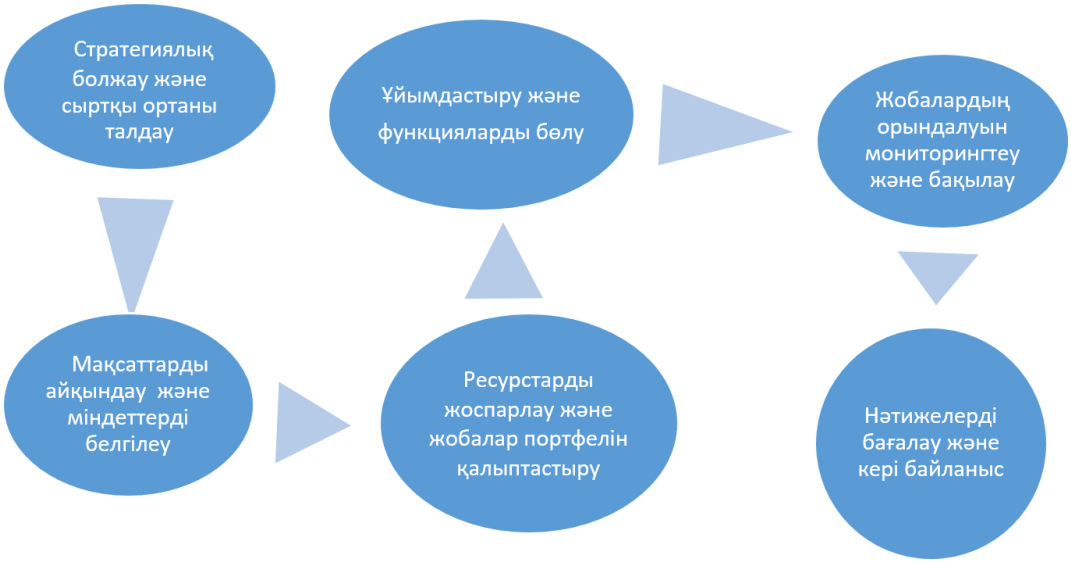
Цифрландыру тек тренд емес, стратегиялық басқаруға деген тәсілдерді түбегейлі өзгертуге қабілетті іргелі трансформация болып табылады [10]. Цифрлық технологияларды енгізу бұл процестерді түбегейлі өзгертеді. Цифрландыру деректерді нақты уақыт режимінде жинауға, өңдеуге және талдауға мүмкіндік береді. Мысалы, SCADA жүйелері турбогенераторлар мен котелдердің жағдайын үздіксіз бақылап, нормативтік жұмыс режимінен ауытқуларды уақытылы анықтауға мүмкіндік береді. IoT-сенсорлар мен цифрлық егіздер (DigitalTwins) жабдықтың әртүрлі жүктемелік сценарийлердегі мінез-құлқын модельдеуге және ықтимал ақауларды олардың нақты пайда болуынан бұрын болжауға мүмкіндік береді.

Деректерді аналитикалық өңдеу жобаларды басқару жүйелерімен (MSProject, PrimaveraP6) біріктірілгенде жөндеу және жаңғырту жобаларының орындалуын бақылауға ғана емес, сонымен қатар стратегиялық жоспарлауға интеграциялауға мүмкіндік береді. Мысалы, котелдердің жұмыс уақытын қысқартудың энергия өндіру көлеміне әсерін есептеу автоматтандырылған болса, басқарушылық шешім қабылдауда адамдық қатенің ықтималдығы азаяды.

Цифрландыру ресурстарды оңтайландыруға және эксплуатациялық шығындарды азайтуға мүмкіндік береді. Турбогенераторлар мен жылу желілерінің тиімділігін автоматты есептеу отын шығынын азайтып, орнатылған қуат коэффициентін арттырып, кәсіпорынның экологиялық көрсеткіштерін жақсартуға көмектеседі. Стратегиялық тұрғыдан бұл ұзақ мерзімді тұрақты дамуды қамтамасыз етеді және сұраныстың ауытқуларына немесе сыртқы экономикалық факторларға байланысты тәуекелдерді төмендетеді.

Зерттеу нәтижелері стратегиялық жоспарлау жобалық басқару контекстінде алты өзара байланысқан басқару процесінен тұратын динамикалық жүйе ретінде қалыптасатынын, ал цифрландыру бұл процестердің үйлесімділігін қамтамасыз етіп, шешім қабылдау жылдамдығы мен дәлдігін едәуір арттыратынын көрсетеді. Авторлардың көзқарасы бойынша, аталған басқару моделін цифрлық платформалар мен интеллектуалды аналитикалық құралдар негізінде практикалық қызметке енгізу ұйымдардың стратегиялық икемділігін арттырып, тұрақты даму мақсаттарына қол жеткізуге мүмкіндік береді. (1- сурет).

Осылайша, жобалық басқару мен стратегиялық жоспарлауда цифрлық құралдарды аналитикалық негізде енгізу басқару процестерінің ашықтығын арттырып қана қоймай, деректерге негізделген болжамдардың дәлдігін едәуір жақсартады. Зерттеу нәтижелері цифрлық аналитиканы қолдану басқарушылық шешімдердің сапасына тікелей әсер ететінін және ресурстарды тиімді бөлуге мүмкіндік беретінін дәлелдейді. Авторлық тәсіл аясында цифрландыру қазіргі нарықтық жағдайда кәсіпорынның сенімділігі мен тұрақтылығын қамтамасыз ететін стратегияның негізгі, жүйеқұраушы элементі ретінде негізделді.



1-сурет. «Ульба ЖЭО АЭС» ЖШС стратегиялық жоспарлау құрылымы
Ескертпе: Авторлармен зерттеліп отырған нысандар деректері негізінде құрастырған

Бұл зерттеу «Ульба ЖЭО АЭС» ЖШС мысалында жүргізілді. Кәсіпорынның негізгі қызметі электр және жылу энергиясын біріккен өндіруді қамтиды. Өндірістік процесс жылулық график бойынша жүзеге асады, ал ең жоғары жүктеме қыс мезгілінде байқалады. Жылу энергиясы соңғы тұтынушыға дейін жеткізіліп, таратылады, ал электр энергиясының негізгі алушысы – Өскемен титан–магний комбинаты АҚ (негізгі тұтыну үлесі 96%), сонымен қатар басқа өндіріс және тұрғын үй секторлары да қамтылған.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, қазандық агрегаттарының жұмыс уақытын қысқарту (-9422,568 Гкал) және жылу желілеріндегі жоғалтулардың өсуі (-1713,15 Гкал) жалпы жылу жеткізу көлемінің 11135 Гкал-ға азаюына себеп болған. Бұл факторлардың бірлескен әсері өндірістік процеске тікелей ықпал етіп, қазандықтардың қуатының, жүктемесінің және тұтынушыға берілетін пайдалы жылу мен ыстық судың көлемінің өзгеруіне алып келеді.

Қазіргі уақытта жобалық басқару тек жеке жобаларды басқаруға ғана емес, сондай-ақ кәсіпорынның бүкіл операциялық және стратегиялық қызметіне әсер етуге қабілетті әмбебап басқару құралы ретінде қарастырылады. Нарықтағы жаңа мүмкіндіктер мен нишалардың пайда болуы көбіне уақытша сипатқа ие, себебі көптеген жобалар белгілі бір өнім немесе қызметті жасау мен дамыту мерзімімен шектелген. Сол себепті жобалық басқару тек тапсырмаларды орындау шеңберінде емес, сонымен қатар стратегиялық шешімдер қабылдау, ресурстарды тиімді бөлу және ұйымның ұзақ мерзімді дамуын қамтамасыз ету құралы ретінде маңызды рөл атқарады [11].

Стратегиялық жоспарлау процесін жобалық басқару аясында қарастырғанда оны бір-бірімен логикалық байланысы бар алты негізгі басқару элементінен тұратын динамикалық жүйе ретінде сипаттауға болады (1-сурет). Бұл элементтер арасында үздіксіз кері байланыс бар, яғни бір процестің нәтижесі екінші процестің тиімділігін анықтайды, ал олардың үйлесімділігі жалпы ұйымдық мақсаттарға жетуге тікелей ықпал етеді. Мұндай интеграциялық жүйе кәсіпорынның ресурстарын тиімді пайдаланып, жобалық және стратегиялық міндеттерді біртұтас орындауға мүмкіндік береді. Жобаларды басқарудың дәстүрлі тәсілі әрдайым жобалардың өзгермелі сипатына жауап бере алмайтындықтан, қазіргі экономикалық және іскерлік ортаның мәселелерін шешудің заманауи тәсілдері қажет болды [12].

«Ульба ЖЭО АЭС» ЖШС мысалында кәсіпорын тиімділігінің төмендеу дәрежесін анықтау

үшін факторлардың әсер ету деңгейін тізбекті алмастыру әдісі қолданылды. Бұл әдіс әрбір фактордың жеке және бірлескен ықпалын бағалауға мүмкіндік береді, сонымен қатар өндірістік процестегі әлсіз тұстарды анықтауға жол ашады. Формула (1) бойынша есептеулер жүргізу нәтижесінде негізгі факторлар – қазандық агрегаттарының жұмыс уақытының қысқаруы және жылу желілеріндегі жоғалтулар – өндіріс көлеміне айтарлықтай әсер ететіні дәлелденді.

Қосымша талдау көрсеткендей, бұл факторлар тек техникалық көрсеткіштерге әсер етіп қана қоймай, сонымен қатар экономикалық тиімділікке де ықпал етеді. Мысалы, қазандық агрегаттарының жұмыс уақытының қысқаруы энергия шығынын арттырып, өндірістік шығындарды көбейтеді, ал жылу желілеріндегі жоғалтулар тұтынушыға берілетін пайдалы жылу мен ыстық су көлемін төмендетеді. Нәтижесінде бұл кәсіпорынның жалпы өнімділік көрсеткіштерін төмендетіп, жоспарланған инвестициялық мақсаттарға қол жеткізуді қиындатады.

Осыған байланысты зерттеу авторлары өндіріс процесінің сенімділігін арттыру және энергия тиімділігін жоғарылату үшін турбоагрегатты жаңғырту жобасын ұсынады. Жобалық басқару әдістерін қолдану арқылы жаңғырту жұмыстарының әр кезеңі нақты жоспарланып, ресурстар тиімді бөлінеді, ал өндіріс процесі мен стратегиялық мақсаттар арасындағы үйлесімділік қамтамасыз етіледі. Бұл тұрғыдан кәсіпорынның даму стратегиясының негізгі элементтерінің бірі - Майкл Портердің «құн тізбегі» (valuechain) тұжырымы маңызды рөл атқарады. Бұл тұжырым әрбір қызмет кезеңінің - шикізат сатып алудан бастап клиенттерге қызмет көрсетуге дейінгі - құндылық тудыратындығын көрсетеді [13]. Құн тізбегін талдау кәсіпорынға бәсекелестік артықшылық алуға болатын нүктелерді анықтауға мүмкіндік береді: шығындарды азайту немесе өнімнің бірегейлігін арттыру арқылы тиімді даму стратегиясын қалыптастыруға болады.

«Ульба ЖЭО АЭС» ЖШС тиімділігінің төмендеу дәрежесін анықтау үшін факторлардың әсер ету деңгейі тізбекті алмастыру әдісі бойынша формула (1) берілген есептер негізінде жылу жеткізудегі өзгерістерді факторлық талдау арқылы қарастырсақ, келесі қорытындыларға келуге болады. Алдымен, жалпы жылу жеткізудің ауытқуы ΔЭotp келесідей анықталды:

$$\Delta Э_{otp} = Э^{о}_{otp} - Э^{п}_{otp} = 323322 - 334457 = -11135\ Гкал$$

Яғни, зерттелген кезеңде жылу жеткізу көлемі 11 135 Гкал-ға төмендеген. Бұл көрсеткіш кәсіпорынның негізгі энергетикалық ресурстарын тиімді пайдаланбауынан немесе өндіріс процесіндегі кейбір факторлардың теріс ықпалынан туындаған.

Факторлық талдауды тереңдету үшін жылу жеткізудегі өзгерістерді бірнеше негізгі компоненттерге бөлеміз:

1) Орнатылған қуаттың әсері (Ру):

$$\Delta Э_{р}(P_{у}) = (216 - 216) \times 1597 \times (1 - 0{,}0306) = 0$$

Бұл көрсеткіш бойынша кәсіпорында орнатылған қуат көлемінің өзгерісі байқалмаған. Яғни, жылу жеткізудегі төмендеудің негізгі себебі қуат шегінің жеткіліксіздігі емес.

2) Қазандық агрегаттарының жұмыс уақытының әсері (Ch):

$$Э_{ch}(Ch) = 216 \times (1552 - 1597) \times (1 - 0{,}0306) = -9422{,}568\ Гкал$$

Есеп көрсеткендей, қазандық агрегаттарының жұмыс уақытын қысқарту жалпы жылу жеткізу көлемін 9 422,568 Гкал-ға азайтып, негізгі теріс әсерді тудырған. Бұл агрегаттардың қызмет көрсету мерзімінің ұзақтығы мен техникалық жағдайының төмендеуіне байланысты болуы мүмкін.

3) Жылу желілеріндегі жоғалтулардың әсері (Кр):

$$Э_к(K_р) = 216 \times 1597 \times (1 - 0{,}03572 - 1 + 0{,}0306) = -1713{,}15\ Гкал$$

Анализ нәтижелері көрсеткендей, жалпы жылу жеткізудің төмендеуі негізінен екі факторға байланысты: қазандық агрегаттарының жұмыс уақытын қысқарту (≈85%) және жылу желілеріндегі жоғалтулардың өсуі (≈15%). Бұл бөлшектеу кәсіпорын басшылығына нақты бағыттар бойынша әрекет етуге мүмкіндік береді:

- қазандық агрегаттарын жаңарту немесе жөндеу арқылы негізгі энергия өндіру көзін тұрақтандыру;

- жылу желілерін модернизациялау, оқшаулау жұмыстарын жүргізу немесе қосымша қысым реттегіштерін орнату арқылы энергия шығынын азайту.

Сонымен қатар, факторлық талдау болашақтағы жоспарланған инвестициялар мен техникалық қызмет көрсету жұмыстарының тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді. Мысалы, қазандық агрегаттарының техникалық жаңғыртылуы жылу жеткізудің тұрақтылығын қамтамасыз етіп, энергия тиімділігін 8–10% дейін арттыруға мүмкіндік береді.

Бұл көрсеткіш жылу желілерінде энергияның таратылу сапасының төмендеуінен пайда болған шығынды сипаттайды. Жоғалтулар 1 713,15 Гкал-ға тең, яғни жалпы төмендеудің шамамен 15% құрайды.

4) Жалпы факторлық әсердің интеграциялық талдауы:

$$\Delta Э_{отр} = 0 - 9422{,}568 - 1713{,}15 = -11135{,}8\ Гкал$$

Анализ нәтижелері көрсеткендей, жалпы жылу жеткізудің төмендеуі негізінен екі факторға байланысты: қазандық агрегаттарының жұмыс уақытын қысқарту (≈85%) және жылу желілеріндегі жоғалтулардың өсуі (≈15%). Бұл бөлшектеу кәсіпорын басшылығына нақты бағыттар бойынша әрекет етуге мүмкіндік береді:

- қазандық агрегаттарын жаңарту немесе жөндеу арқылы негізгі энергия өндіру көзін тұрақтандыру;

- жылу желілерін модернизациялау, оқшаулау жұмыстарын жүргізу немесе қосымша қысым реттегіштерін орнату арқылы энергия шығынын азайту.

Сонымен қатар, факторлық талдау болашақтағы жоспарланған инвестициялар мен техникалық қызмет көрсету жұмыстарының тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді. Себебі жобалық тапсырманың принциптік кешенділігі басқарушылық қызметтің жаңа стилін анықтайды, онда әлеуметтік-мәдени, техникалық-технологиялық және ұйымдастырушылық-басқарушылық аспектілер өзара әрекеттесіп, бір-бірін толықтырады.

Мысалы, қазандық агрегаттарының техникалық жаңғыртылуы жылу жеткізудің тұрақтылығын қамтамасыз етіп, энергия тиімділігін 8–10% дейін арттыруға мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, жалпы жылу жеткізу көлемінің азаюы қазандық агрегаттарының жұмыс уақытын қысқарту (-9422,568 Гкал) және жылу желілеріндегі жоғалтулардың ұлғаюы (-1713,15 Гкал) нәтижесінде орын алды. Осы факторлардың бірлескен ықпалы бойынша жалпы жылу жеткізу көлемі 11135 Гкал-ға төмендеді. Негізгі факторлардың – қазандық

агрегаттарының жұмыс уақыты мен сыртқы құбырлардағы жылу жоғалтулары - өзгеруі өндіріс процесіне тікелей әсер етіп, қазандықтардың өндірілетін қуаты, жүктемесі және тұтынушыға берілетін пайдалы жылу мен ыстық судың көлемін азайтуға алып келеді.

Нақты жағдайды қарастырғанда №1 турбиналық қондырғы (1961 жылы пайдалануға берілген, жұмыс уақыты - 280 097 мың сағат) күрделі жұмыс шарттарына байланысты, соның ішінде бу температурасы 540 °С және қысым 90 кг/см² жағдайларында, металдық бөлшектерге елеулі әсер етті. Соңғы 20 жылдағы тексерістерде бірнеше ақаулар анықталды:

- 1988 жылы - жоғарғы және төменгі қақпақтарда жарықтар табылып, дәнекерлеу арқылы жөнделген.

- 1992 жылы -цилиндр қақпағы мен турбина сыртқы бетінде жарықтар тіркелген;

- 1997 жылы - металл қаттылығы мен тұтқырлығы талаптарға сай болмаған, цилиндрдің төменгі бөлігінде ұзындығы 1250 мм жарық анықталған;

- 2006 жылы - корпустың төменгі жартысының ішкі бетінде жарықтар мен шұңқырлар табылған. Берілген процесті ескере отырып, атап өту керек, жаңартылатын энергетиканы мемлекеттік қолдау нарықтарды бұрмалауға қабілетті, бұл тұтынушылардың таңдау еркіндігін шектеп, ресурстардың тиімсіз бөлінуіне алып келеді [14].

Қазіргі сараптама нәтижелері бойынша №1 турбина металл бақылау сынағынан өтпейтіндігі анықталған, бұл оның әрі қарай пайдаланылуына тыйым салуға негіз береді. Егер ешқандай шара қолданылмаса, зауыт тек №2 турбинамен жұмыс істеуге мәжбүр болады, бұл қыс мезгілінде сенімділікті айтарлықтай төмендетеді. №1 турбина өзінің нормативтік жұмыс уақытынан 29 мың сағатқа артық қызмет етіп, негізгі бөліктерінің металдық жағдайы қанағаттанарлықсыз болып шықты.

Осы себептен, №1 турбогенераторды (ТГ) заманауи РТ-40/50-90/10 турбогенераторымен ауыстыру туралы шешім қабылданды. Жаңа турбина іске қосылғанға дейін қазандықтарды номинал қуатқа дейін жеткізу үшін қайта құру жұмыстары жоспарлануда. Бұл кезең «Ульба ЖЭО АЭС» ЖШС-де жабдықтарды жаңартудың бірінші кезеңі болып табылады. Екінші кезеңде электр және жылу энергиясы нарығын талдау арқылы зауыттың дамуының келесі стратегиясы анықталады. Мүмкін болатын шаралар: №2 турбогенераторды алмастыру немесе № 4 қазандықты қалпына келтіру, жылу энергиясын сату мүмкіндігін арттыру.

Жобаның негізгі артықшылықтары:

- персонал мен жабдықтардың қауіпсіздігі қамтамасыз етіледі;

- қыс мезгілінде жылу тапшылығы тәуекелдері азаяды, 4000 абонентке (12 000 адам) қызмет көрсету тұрақтылығын сақтайды;

- жөндеу шығындары 0,05 тен 0,02 KZT/кВтсағ дейін төмендейді;

- жаңа турбинада заманауи өрт сөндіру жүйесі орнатылады;

- микропроцессорлық қорғаныс және дірілді бақылау жүйесі апаттық тоқтап қалу қаупін азайтады;

- оператор жұмысының тиімділігін арттыратын заманауи интерфейстер енгізіледі;

- турбина жөндеу аралығы 4 жылдан 5 жылға дейін ұзарады;

- генератор ауа салқындатуға көшеді, бұл май тығыздағыштар мен сутекті пайдалануды қажет етпейді, өрт қауіпін төмендетеді;

- меншікті отын шығыны 450 г.ш.ө.к./кВтсағ-тен 415 г.ш.е.к./кВтсағ-қа дейін азаяды.

Электр энергиясының жылдық өндірісі қоршаған ортаға эмиссияны арттырмай, 240 млн кВтсағ-тан 277 млн кВтсағ-қа дейін өседі, бұл тарифтік өтемақы алу тәуекелдерін төмендетеді, себебі станция қазірдің өзінде ҚР Үкіметінің «Инвестицияға айырбастау тарифі» бағдарламасымен бекітілген шекті тарифтер бойынша жұмыс істейді [15].

Ауыстырылатын жабдықтар тізімі:

- 40-50 МВт қуатты тиімді турбина;

- турбинаның қосалқы жабдықтарын (регенеративті қыздырғыштар, май жүйесі,

құбырлар мен арматура) ауыстыру;

- жоғары қысымды DP-225 деаэратор;

- 50 МВт қуатты генератор;

- заманауи генератор қоздыру жүйесі;

- турбина мен генератордың технологиялық параметрлерін толық бақылауды

қамтамасыз ететін автоматтандырылған басқару жүйесі;

- генератордың реле қорғауы мен автоматикасын микропроцессорлық құрылғыларға

толық ауыстыру.

Жобаның инвестициялық шығындарының өтелу мерзімі – 6–7 жыл.1-кестеде ЖЭО бойынша жобаны іске асырғанға дейінгі және кейінгі негізгі техникалық-экономикалық көрсеткіштер көрсетілген.

1-кесте. Жобаны іске асыруға дейінгі және кейінгі негізгі техникалық – экономикалық көрсеткіштер

№	**Көрсеткіш атауы**	**Өлшем Бірлігі**	**Жобаны іске асыруға дейін**	**Жобаны іске асыруға кейін**	**1-бап бойынша орнатудан кейінгі**
1	Орнатылған қуат				
	-электрлік	МВт	50	80	50
	-жылулық	Гкал/сағ	293	293	171
2	Қол жетімді қуат				
	-электрлік	МВт	60	80	50
	-жылулық	Гкал/сағ	220	220	171
	-турбиналық бумен	Гкал/сағ	80	138	97
3	Отын түрі		Қаражыра / Майкөбен орындарының көмірі		
4	Сағаттың ең жоғары жылу жүктемесі (жоғалтусыз)	Гкал/сағ	68,0	97,0	70,4
	-бу түрінде	Гкал/сағ	7,0	7,0	6,0
	-ыстық су түрінде	Гкал/сағ	61,0	90,0	63,0
5	Жылдық электр энергиясын өндіру	Млн кВт*сағ	271,7	428,7	283,6
	-жылу тұтынуды қоса алғанда	Млн кВт*сағ	175,4	328,8	183,7
6	Өз қажеттіліктеріне жұмсалатын электр энергиясы	Млн кВт*сағ	49,7 (18,3%)	59,9 (14,0%)	28,4 (10,0%)
7	Шиналардан берілетін жылдық электр энергиясы	Млн кВт*сағ	222,0	369,0	255,0

8	Жалпы пайдалы жылу берілімі	Мың Гкал	319,4	450,0	310,0
	-бу түрінде	Мың Гкал	52,4	73,8	45,5
	-ыстық су түрінде	Мың Гкал	267	376,2	264,5
9	Жанармай баламасының жылдық шығыны	Мың т.ж.б.	166,2	219,7	146,4
10	Жанармай баламасының меншікті шығыны				
	-жеткізілген электр энергиясына	г/кВт*сағ	476,8	389,2	372,9
	-жеткізілген жылу энергиясына	кг/Гкал	189,1	169,1	165,3
Ескертпе: Авторлармен зерттелген нысандардың деректері негізінде есептеген					

Кестеде көрсетілген техникалық-экономикалық көрсеткіштерді салыстырмалы талдау жобаны іске асыру нәтижесінде кәсіпорынның өндірістік, энергетикалық және ресурстық тиімділігі айтарлықтай артқанын дәлелдейді. Ең алдымен, жаңғыртудан кейін электрлік орнатылған қуат 50 МВт-тан 80 МВт-қа дейін өсіп, генерация көлемінің 57%-ға ұлғаюына негіз болды. Бұл электр энергиясының жылдық өндірісінің 271,7 млн кВт·сағ-тан 428,7 млн кВт·сағ-қа дейін өсуімен расталады, яғни өсім 57,8% құрады. Жалпы, қалпына келетін энергия технологиялары негізінде электр энергиясын өндіру өте қымбатқа түседі. Соның нәтижесінде, бұл технологиялар климатты қорғаудың экономикалық тұрғыдан тиімді шаралары болудан алыс [16].

Техникалық жетілдіру нәтижесінде кәсіпорынның меншікті энергия шығындары да қысқарған: электр энергиясы бойынша өзіндік тұтыну үлесі 18,3%-дан 14,0%-ға дейін азайған, бұл жабдықтардың жұмыс сенімділігінің артуын және технологиялық процестердің оңтайландырылуын білдіреді. Жанармай баламасының меншікті шығыны 476,8 г/кВт·сағ-тан 389,2 г/кВт·сағ-қа дейін төмендеп, отын тиімділігінің жақсарғанын және экологиялық жүктеменің азайғанын көрсетеді.

Жылулық энергия бойынша да оң динамика байқалады: жалпы пайдалы жылу берілімі 319,4 мың Гкал-дан 450,0 мың Гкал-ға дейін өсіп, 40%-ға жуық артқан. Бұл қазандық жабдықтарының тиімділігінің жоғарылауын, жылу желілеріндегі жоғалтулардың төмендеуін және жылу генерациясы құрылымындағы оңтайландыру шараларын көрсетеді. Сонымен қатар отынның жалпы шығыны 166,2-ден 219,7 мың т.ж.б.-ға өссе де, бұл өсім өндіріс көлемінің кеңеюімен толық негізделеді және меншікті шығындардың төмендеуі ресурстарды тиімді пайдаланудың күшейгенін дәлелдейді.

Жалпы алғанда, кестелік деректер турбоагрегат пен қосалқы жабдықтарды модернизациялау энергетикалық тиімділікті арттырып, кәсіпорынның өндірістік қуатын ұлғайтып, эксплуатациялық шығындарды төмендететінін, сондай-ақ энергия қауіпсіздігі мен жүйелік сенімділікті жақсартатынын көрсетеді. Бұл жобаның стратегиялық орындылығы мен инвестициялық тартымдылығын толық дәлелдейді. Қазақстандағы энергетика саласындағы мемлекеттік саясат қалпына келетін энергия көздерін дамыту мен қол-

дауды жақсартуға бағытталған, жаңа ВИЭ жобалары бойынша аукцион өткізуге мүмкіндік беретін түзетулер енгізілуде, бұл бұрынғы бекітілген тарифтер жүйесінің орнын алмастырады [17].

Нәтижесінде жүргізілген зерттеулерден алынған қорытындылар кәсіпорындардың өндірістік тиімділігін арттыру және энергетикалық ресурстарды үнемді пайдалану сияқты қолданбалы мәселелерді шешуде маңызды ғылыми негіз бола алады. Сонымен қатар, алынған мәліметтер экономикалық және энергетикалық ғылымдарда жаңа бағыттарды дамытуға, өндірістік процестерді оңтайландыруға, сондай-ақ жобалық басқарудың тиімді әдістемелерін қолдануға мүмкіндік береді.

Зерттеу барысында кәсіпорындардың өндірістік тиімділігін талдау үшін эмпирикалық және математикалық әдістер, экономикалық бағалау тәсілдері, салыстырмалы және факторлық талдау қолданылды. Айқындалған негізгі факторлар – қазандық агрегаттарының жұмыс уақытындағы қысқару және жылу желілеріндегі жоғалтулар – өндірістік процестің нәтижелілігіне елеулі ықпал ететіндігі дәлелденді. Бұл көрсеткіштер бойынша энергия жеткізу көлемі айтарлықтай төмендеп, қазандықтардың номиналды қуатын толық пайдаланбау фактісі анықталды.

Зерттеу нәтижелері жобалық басқару мен стратегиялық жоспарлау жүйесінде цифрлық құралдарды аналитикалық интеграциялау механизмінің алғаш рет кешенді түрде негізделгенін көрсетті. Зерттеу барысында басқару процестерінің ашықтығы мен басқарушылық болжамдардың дәлдігі арасындағы сандық және сапалық өзара байланыс анықталып, бұл факторлардың басқарушылық шешімдер сапасына тікелей әсер ететіні дәлелденді. Сонымен қатар цифрландырудың кәсіпорынның тұрақтылығы мен сенімділігіне ықпалын сипаттайтын авторлық тұжырымдамалық көзқарас ұсынылды. Алынған нәтижелер қазіргі нарықтық жағдайда цифрлық аналитиканы қолдану басқарудың жалпы тиімділігін арттырудың маңызды факторы болып табылатынын ғылыми тұрғыдан негіздейді.

Қабылданған талдау нәтижелері негізінде №1 турбоагрегатты жаңғырту жобасы ұсынылды. Жаңғырту жұмыстарының басты мақсаты – турбогенератордың сенімділігін арттыру, энергия тиімділігін 10–12%-ға дейін жоғарылату, сондай-ақ электр және жылу энергиясын өндіруді тұрақтандыру. Жобаны іске асыру кезінде заманауи технологиялар мен автоматтандырылған басқару жүйелері енгізілетін болады, бұл өндіріс процесін бақылау мен оператор жұмысының тиімділігін айтарлықтай арттырады.

Сонымен қатар, жаңа жабдықтарды пайдалану экологиялық көрсеткіштерді жақсартуға, отын шығынын азайтуға және қоршаған ортаға эмиссияны төмендетуге мүмкіндік береді. Жобаның іске асырылуы кәсіпорынның қыс мезгіліндегі сенімділігін сақтауға, авариялық жағдайлардың санын азайтуға және электр энергиясын өндіру шығындарын оңтайландыруға ықпал етеді.

Жобаны басқарудың дұрыс әдістемесін таңдау өте маңызды, себебі ол команданың жобамен қалай жұмыс істейтінін анықтайды. Жобаны басқару әдістері жобаның сәтті немесе сәтсіз аяқталуына әкелетін құрылымдарды қамтамасыз етеді [18].

Жалпы, зерттеу нәтижелері өндіріс пен энергетика саласындағы практикалық мәселелерді шешуге бағытталған нақты ұсыныстар беріп қана қоймай, жобалық басқару мен өндірістік тиімділікті арттыру әдістемелерін дамытуға да ғылыми үлес қосады.

Қорытынды. Осы зерттеу мен алынған нәтижелер көрсеткендей, дұрыс таңдалған және жүйелі түрде жүзеге асырылған бизнес-менеджмент стратегиясы нарықтық экономика жағдайында кәсіпорынның тұрақты әрі тиімді қызмет етуінің маңызды факторы болып табылады. Алайда, жақсы әзірленген стратегиялық жоспар мен оны сапалы орындау компанияның экономикалық құлдырау, нарықтағы белгісіздік немесе күтпеген дағдарыстардан толықтай қорғауына кепілдік бермейді. Стратегиялық жоспарлау – бұл басқару процесінің бір бөлігі ғана, дербес әре-

кет емес, және оның тиімділігі ұйымның жалпы басқару жүйесінің үйлесімділігіне тікелей байланысты.

Стратегиялық шешім қабылдау процесі тек жоспарлау деңгейінде шектелмейді; ол сондайақ ұйымның құрылымын ұйымдастыру, қызметкерлерді ынталандыру, ресурстарды тиімді бөлу және бақылау сияқты аспектілерді қамтиды. Яғни, стратегиялық шешім қабылдау топменеджменттің негізгі міндеттерінің бірі болып табылады және оның сапасы ұйымның нарықтағы тұрақтылығын айқындайтын маңызды фактор болып саналады.

Сонымен қатар, әрбір компания үшін бірыңғай стратегиялық жоспарлау әдісі жоқ, себебі нарықтық жағдайлар мен сыртқы ортаның ерекшеліктері әртүрлі. Кәсіпорынның өміршеңдігіне кепілдік беру үшін ұйымдар өз мүмкіндіктерін жан-жақты талдай отырып, сыртқы ортаны бағалап, ішкі ресурстарын тиімді пайдалана отырып, өзіндік стратегияны қалыптастыруға мәжбүр. Бұл стратегия ұйымның нақты мақсаттары мен миссиясын ескере отырып, икемді және бейімделгіш болуы қажет.

Стратегиялық жоспарлау - мақсатқа жетудің құралдары мен бағыттарын анықтайтын ұзақ мерзімді, күрделі процесс. Ол өздігінен мақсат емес, ұйымның дамуын қамтамасыз ететін жол картасы ғана. Стратегияның құндылығы оның іс жүзінде сәтті іске асырылуына байланысты анықталады. Сондықтан ұйым басшылығы стратегиялық жоспарларды тек құрумен шектелмей, олардың орындалуын үнемі бақылап, бағдарламалар мен жобалар арқылы жүзеге асыруға жауапты болады. Бұл процесс кәсіпорынның ресурстарын тиімді пайдаланып, нарықтағы өзгерістерге жедел реакция жасауға мүмкіндік береді және стратегиялық мақсаттарға қол жеткізуді қамтамасыз етеді.

Сонымен, стратегиялық жоспарлау мен оны орындау арасындағы интеграция ұйымның ұзақ мерзімді дамуы мен бәсекеге қабілеттілігін қамтамасыз ететін маңызды фактор болып табылады. Кәсіпорындардың нарықтағы табысы көбіне осы процестердің сапасына және олардың нақты өміршең жағдайларға бейімделуіне тәуелді.

Әдебиеттер

1. Дядик Н.В., Чапаргина А.Н. Траектории финансового развития регионов российской Арктики//Арктика и Север. -2022. - № 47. -С.26- 42. DOI 10.37482/issn2221-2698.2022.47.26.

2. Юсупова И.В. Управление проектами территориального развития: учебное пособие. Казань: Изд-во Казанского университета. - 2018. -150 С.

3. Soltangazinov A., Simonov S., Amirova M., Kaidarova S., Karimbergenova M. Strategic planning as an instrument of the State planning system in the Republic of Kazakhstan//Bulletin of Karaganda University. Economics Series. -2019.- Vol.1(93). - P.199-207.

4. Жанасилова А.Т., Мукина Г.С., Султанова М.Б., Айдаралиева А.А. Кәсіпорындарды дамыту стратегиясын қалыптастыруды және оның бәсекелестік позицияларын талдау//«Тұран» университетінің хабаршысы. -2023. - Т.1 (97).- 254 - 266 Б. DOI 10.46914/1562-2959-2023-1-1-254-266.

5. Казакова Н.А. Анализ методов формирования эффективной бизнес-модели компании//Russian Journal of Management. - 2024. - Т.12(4). - С.565–574. DOI 10.29039/2500-1469-2024-12-4-565-574.

6. Аубакирова Г.М., Исатаева Ф.М., Мажитова С.К., Тогайбаева Л.И. Декарбонизация горно-металлургического сектора: опыт Казахстана//Вестник университета «Туран». - 2023. - Т.4. - С.54–69. DOI 10.46914/1562-2959-2023-1-4-54-69.

7. Zaiyang Xie, Jie Wang, Ling Miao. Big data and emerging market firms' innovation in an open economy: The diversification strategy perspective//Technological Forecasting and Social Change. -2021.- Vol.173(5):121091. DOI 10.1016/j.techfore.2021.121091.

8. Yaremchuk E., Muzalev S. Economic analysis as an element of strategic planning in organizations//Russian Journal of Management. -2020. -Vol.8(1). - P.151-155. DOI 10.29039/2409-6024-2020-8-1-151-155.

9. Hyväri I. Roles of top management and organizational project management in the effective company strategy implementation// The Procedia - Social and Behavioral Sciences. -2016-. Vol.226. -P. 108-115. DOI 10.1016/j.sbspro.2016.06.168.

10. Бахарева Я. Д. Влияние цифровизации на процессы стратегического управления в современных организациях// Вестник науки. - 2024. - Т.4. - № 12 (81). - С.102 -107.

11. Sang-Bing T., Youzhi X., Jianyu Zh., Quan Ch., Yubin L., Jie Zh., Weiwei D. Models for forecasting growth trends in renewable energy// Renewable and Sustainable Energy Reviews. -2017.-Vol.77. -P.1169-1178. DOI 10.1016/j.rser.2016.06.001.

12. Основы управления проектами: [учеб. пособие] / Л. Н. Боронина, З. В. Сенук; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. - 112 с. ISBN 978-5-7996-1416-4.

13. Туркебаева К. Т., Сабден О. С. Жобалық тәсіл әдіснамасын талдау: әдеби шолу//Қазақстан Республикасы Ұлттық инженерлік академиясының хабаршысы. -2022. -Т.2(84). -117-132 Б. DOI 10.47533/2020.1606-146X.160.

14. Тасмагабетов А.Б., Есенгельдин Б.С., Атаниязов Ж., Тасмаганбетова С.Ж. Қазақстанның тұрақты даму мақсатына қол жеткізудегі жаңартылатын энергия көздерінің рөлі//Қарағанды университетінің хабаршысы. -2022. -№2 (96). – 313-320 Б. DOI 10.31489/2022Ec2/313-320.

15. Портер М. Конкурентная стратегия: Методика анализа отраслей конкурентов. - М.: Альпина, 2019. - 608 С. ISBN 978-5-9614-2956-5.

16. Bespalyy S. Kazakhstan: Assessment of renewable energy support and a green economy//Journal of Environmental Management and Tourism. -2021.- Vol.12(3). - P.631–641. DOI 10.14505//jemt.v12.3(51).03.

17. Manuel F., Nolan R., Christoph M.Sc., Colin V. Economic impacts from the promotion of renewable energy technologies - The German experience//Ruhr Economic Papers. -2009.- No.156. -P.3-32. ISBN 978-3-86788-173-9.

18. Уткин Е.А. Проектное управление: организация, технологии, эффективность. - М.: Дашков и Ко, 2019. - 280 С.

References

1. Dyadik N.V., Chapargina A.N. Traektorii finansovogo razvitiya regionov rossiiskoi Arktiki// Arktika i Sever. -2022.- No.47-. S.26-42. DOI 10.37482/issn2221-2698.2022.47.26. [in Russian]

2. Yusupova I.V. Upravlenie proektami territorial’ nogo razvitiya: uchebnoe posobie. Kazan’: Izd-vo Kazanskogo universiteta. -2018. -150 S.

3. Soltangazinov A., Simonov S., Amirova M., Kaidarova S., Karimbergenova M. Strategic planning as an instrument of the State planning system in the Republic of Kazakhstan//Bulletin of Karaganda University. Economics Series. -2019.- Vol.1(93). - P.199-207.

4. Zhanasilova A.T., Mukina G.S., Sultanova M.B., Ajdaralieva A.A. Kəsiporyndardy damytu strategijasyn qalyptastyrudy zhəne onyң bəsekelestik pozicijalaryn taldau//«Tұran» universitetinің habarshysy. -2023. - T.1 (97). - 254 - 266 B. DOI 10.46914/1562-2959-2023-1-1-254-266. [in Kazakh]

5. Kazakova N.A. Analiz metodov formirovanija jeffektivnoj biznes-modeli kompanii//Russian Journal of Management. - 2024. - T.12(4). - S.565–574. DOI 10.29039/2500-1469-2024-12-4-565-574. [in Russian]

6. Aubakirova G.M., Isataeva F.M., Mazhitova S.K., Togajbaeva L.I. Dekarbonizacija gorno-metallurgicheskogo sektora: opyt Kazahstana//Vestnik universiteta «Turan». - 2023. - T.4. - S.54-69. DOI 10.46914/1562-2959-2023-1-4-54-69. [in Russian]

7. Zaiyang Xie, Jie Wang, Ling Miao. Big data and emerging market firms' innovation in an open economy: The diversification strategy perspective//Technological Forecasting and Social Change. -2021.-Vol.173(5):121091. DOI 10.1016/j.techfore.2021.121091.

8. Yaremchuk E., Muzalev S. Economic analysis as an element of strategic planning in organizations//Russian Journal of Management. -2020. -Vol.8(1). - P.151-155. DOI 10.29039/2409-6024-2020-8-1-151-155.

9. Hyväri I. Roles of top management and organizational project management in the effective company strategy implementation//The Procedia - Social and Behavioral Sciences. -2016-. Vol.226. -P. 108-115. DOI 10.1016/j.sbspro.2016.06.168.

10. Bahareva Ja. D. Vlijanie cifrovizacii na processy strategicheskogo upravlenija v sovremennyh organizacijah// Vestnik nauki. - 2024. - T.4. - № 12 (81). - S.102 -107. [in Russian]

11. Sang-Bing T., Youzhi X., Jianyu Zh., Quan Ch., Yubin L., Jie Zh., Weiwei D. Models for forecasting growth trends in renewable energy//Renewable and Sustainable Energy Reviews. -2017.-Vol.77. -P. 1169-1178. DOI 10.1016/j.rser.2016.06.001.

12. Osnovy upravlenija proektami: [ucheb. posobie] / L. N. Boronina, Z. V. Senuk; M-vo obrazovanija i nauki Ros. Federacii, Ural. feder. un-t. – Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2015. - 112 s. ISBN 978-5-7996-1416-4. [in Russian]

13. Turkebaeva K. T., Sabden O. S. Zhobalyқ təsil ədisnamasyn taldau: ədebi sholu//Қazaқstan Respublikasy Ұlttyқ inzhenerlik akademijasynyң habarshysy. -2022. -T.2(84). -117-132 B. DOI 10.47533/2020.1606-146X.160. [in Kazakh]

14. Tasmagabetov A.B., Esengel' din B.S., Atanijazov Zh., Tasmaganbetova S.Zh. Қazaқstannyң tұraқty damu maқsatyna қol zhetkizudegi zhaңartylatyn jenergija kөzderinің rөli//Қarағandy universitetinің habarshysy. -2022. -№2 (96). – 313-320 B. DOI 10.31489/2022Ec2/313-320. [in Kazakh]

15. Porter M. Konkurentnaja strategija: Metodika analiza otraslej konkurentov. - M.: Al' pina, 2019. - 608 S. ISBN 978-5-9614-2956-5. [in Russian]

16. Bespalyy S. Kazakhstan: Assessment of renewable energy support and a green economy//Journal of Environmental Management and Tourism. -2021.- Vol.12(3). - P.631–641. DOI 10.14505//jemt.v12.3(51).03.

17. Manuel F., Nolan R., Christoph M.Sc., Colin V. Economic impacts from the promotion of renewable energy technologies - The German experience// Ruhr Economic Papers. -2009.- No.156. -P.3-32. ISBN 978-3-86788-173-9.

18. Utkin E.A. Proektnoe upravlenie: organizacija, tehnologii, jeffektivnost'. - M.: Dashkov i Ko, 2019. - 280 S. [in Russian]

Авторлар туралы мәлімет

Нурмухаметов Н.Н.- э.ғ.к., профессор м.а, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: nyrbahit73@mail.ru;

Шайкенова Н.Т- доктор PhD, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан,e-mail: nurgul_12.1972@mail.ru;

Ислям Г.- э.ғ.к.,қауымдастырылған профессор, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан, e-mail: gdzhempeisova@edu.ektu.kz;

Бабажанова Ж.- э.ғ.к.,профессор, Қазақ ұлттық хореография академиясы, Астана, Қазақстан, e-mail: zh@mail.ru;

Нурмаганбетова Б. К.- э. ғ. к., Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан, e-mail: nbegzate@mail.ru.

Information about authors

Nurmukhametov N.N.- Candidate of Economics, Professor, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research

University, Astana, Kazakhstan, e-mail: nyrbahit73@mail.ru;

Shaikenova N.T.- PhD, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, e-mail: nurgul_12.1972@mail.ru;

Islyam G.- Candidate of Economics, Associate Professor, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: gdzhempeisova@edu.ektu.kz;

Babazhanova Zh. - Candidate of Economics, Professor, Kazakh National Academy of Choreography, Astana, Kazakhstan, e-mail: zh@mail.ru;

Nurmaganbetova B. K.- Candidate of Economics, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: nbegzate@mail.ru.

МРНТИ 06.52.13 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1340**

РАЗВИТИЕ ОТРАСЛИ И ПОЛНОГО ЦИКЛА ПРОИЗВОДСТВА РЕДКИХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ КАЗАХСТАНА: ОБЗОР ПРОБЛЕМ И ПЕРСПЕКТИВ

Г.С. Тайкулакова, Л.Т. Баядилова, М.З. Андаков

Алматы Менеджмент Университет, Алматы, Казахстан

Кореспондент-автор: loribayadilova@gmail.com

В настоящее время правительство Казахстана уделяет большое внимание не только обрабатывающей отрасли, но и траекторному развитию производства редких и редкоземельных металлов. Экономика Казахстана может и должна развиваться за счет диверсификации и цифровизации обрабатывающей промышленности, постепенно отходя от сырьевой направленности. И не только традиционно развивающиеся отрасли обработки должны показывать рост, но и специфические направления, такие как редкоземельные металлы и их производство.

В статье представлен систематизированный обзор развития отрасли редких и редкоземельных металлов Казахстана через призму цепочки добавленной стоимости upstream-midstream-downstream. Актуальность исследования определяется ростом мирового спроса на критические минералы в энергетике, электронике, оборонной промышленности и низкоуглеродных технологиях, а также усилением конкуренции за устойчивые и диверсифицированные поставки. Цель исследования состоит в выявлении структурных ограничений и перспектив формирования полного или селективно-полного производственного цикла редких и редкоземельных металлов в Казахстане.

Методологическую основу составили принципы структурированного обзора литературы с использованием логики PRISMA 2020, тематический контент-анализ, сравнительный анализ и экспертно-аналитический сценарный подход. Установлено, что сильной стороной Казахстана выступает наличие ресурсной базы и отдельных компетенций в металлургии и критических минералах, тогда как ключевое ограничение связано с недостаточным развитием midstream-звена: технологий разделения, глубокой химико-металлургической переработки, производства оксидов, солей, сплавов и магнитных материалов. Показано, что в условиях доминирования Китая и активной промышленной политики ЕС реалистичной траекторией для Казахстана является не универсальное воспроизведение всей цепочки, а селективная локализация наиболее перспективных звеньев с последующим расширением downstream-сегментов и рециклинга. Научная новизна статьи состоит в интеграции геологических, технологических и институционально-политических исследований в единую аналитическую рамку цепочки стоимости и в обосновании поэтапной модели развития отрасли полного цикла в Казахстане.

Ключевые слова: редкие металлы, редкоземельные элементы, критические минералы, цепочка добавленной стоимости, переработка, Казахстан.

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ СИРЕК ЖӘНЕ СИРЕК ЖЕР МЕТАЛДАРЫ САЛАСЫ МЕН ТОЛЫҚ ӨНДІРІСТІК ЦИКЛДІ ДАМЫТУ: МӘСЕЛЕЛЕР МЕН ПЕРСПЕКТИВАЛАРҒА ШОЛУ

Г.С. Тайкулакова, Л.Т. Баядилова, М.З. Андаков

Алматы Менеджмент Университеті, Алматы, Казахстан,
e-mail: loribayadilova@gmail.com

Қазіргі уақытта Қазақстан үкіметі тек өндіріс саласына ғана емес, сонымен қатар сирек кездесетін және сирек кездесетін жер металдарын өндіруді дамытуға да баса назар аударуда. Қазақстан экономикасы өңдеу өнеркәсібін әртараптандыру және цифрландыру арқылы дами алады және дами алады, шикізатқа негізделген тәсілден біртіндеп бас тартады. Өсімді тек дәстүрлі түрде дамып

келе жатқан өндіріс салалары ғана емес, сонымен қатар сирек кездесетін жер металдары және оларды өндіру сияқты нақты салалар да көрсетуі керек.

Бұл мақалада Қазақстанның сирек кездесетін және сирек кездесетін жер металдары өнеркәсібінің дамуына жоғары-орта-төменгі құндылықтар тізбегі тұрғысынан жүйелі шолу ұсынылған. Бұл зерттеудің өзектілігі энергетика, электроника, қорғаныс және төмен көміртекті технологиялар салаларындағы маңызды минералдарға деген әлемдік сұраныстың артуымен, сондай-ақ тұрақты және әртараптандырылған жеткізулер үшін бәсекелестіктің күшеюімен анықталады.

Зерттеудің мақсаты-Қазақстанда сирек кездесетін және сирек кездесетін жер ме-талдарын өндірудің толық немесе таңдамалы толық циклін дамытудың құрылымдық шектеулері мен перспективаларын анықтау. Әдістемелік негіз PRISMA 2020 құрылымын, тақырыптық мазмұнды талдауды, салыстырмалы талдауды және сараптамалық-талдау сценарийлік тәсілін қолдана отырып, құрылымдық әдебиеттерге шолу қағидаттарына негізделген. Қазақстанның күші оның ресурстық базасында және металлургия мен маңызды минералдар саласындағы нақты құзыреттіліктерінде екені анықталды, ал негізгі шектеу орта ағынды буынның: бөлу технологияларының, терең химиялық-металлургиялық өңдеудің және оксидтердің, тұздардың, қорытпалардың және магниттік материалдардың өндірісінің дамымағандығы болып табылады. Қытайдың үстемдігін және ЕО-ның белсенді өнеркәсіптік саясатын ескере отырып, Қазақстан үшін шынайы траектория бүкіл тізбекті әмбебап қайта өндіру емес, ең перспективалы буындарды таңдамалы түрде оқшаулау, содан кейін төменгі ағынды сегменттерді кеңейту және қайта өңдеу екені көрсетілген.

Бұл мақаланың ғылыми жаңалығы геологиялық, технологиялық және институционалдық-саяси зерттеулерді құндылықтар тізбегінің бірыңғай аналитикалық негізіне біріктіруде және Қазақстанда толық циклді өнеркәсіпті дамытудың кезең-кезеңімен моделін негіздеуде жатыр.

Түйін сөздер: сирек кездесетін металдар, сирек кездесетін жер элементтері, маңызды минералдар, құндылықтар тізбегі, өңдеу, Қазақстан.

DEVELOPMENT OF THE RARE AND RARE EARTH METALS INDUSTRY AND THE FULL PRODUCTION CYCLE IN KAZAKHSTAN: AN OVERVIEW OF CHALLENGES AND PROSPECTS

G. S. Taikulakova, L.T. Bayadilova✉, M.Z. Andakov

Almaty Management University, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: loribayadilova@gmail.com

Currently, the government of Kazakhstan is paying close attention not only to the manufacturing sector but also to the development of rare and rare earth metal production. Kazakhstan's economy can and should develop through diversification and digitalization of the manufacturing industry, gradually moving away from a raw materials-based approach. Growth should be demonstrated not only by traditionally developing manufacturing sectors, but also by specific areas such as rare earth metals and their production.

This article presents a systematic review of the development of Kazakhstan's rare and rare earth metals industry through the lens of the upstream-midstream-downstream value chain. The relevance of this study is determined by the growing global demand for critical minerals in the energy, electronics, defense, and low-carbon technologies sectors, as well as intensifying competition for sustainable and diversified supplies. The objective of the study is to identify structural constraints and prospects for the development of a full or selectively full production cycle for rare and rare earth metals in Kazakhstan. The methodological framework was based on the principles of a structured literature review using the PRISMA 2020 framework, thematic content analysis, comparative analysis, and an expert-analytical scenario approach. It was established that Kazakhstan's strength is its resource base and specific competencies in metallurgy and critical minerals, while a key limitation is the underdevelopment of the midstream link: separation technologies, deep chemical-metallurgical processing, and the production of oxides, salts, alloys, and

magnetic materials. It is shown that, given China's dominance and the EU's active industrial policy, a realistic trajectory for Kazakhstan is not the universal reproduction of the entire chain, but the selective localization of the most promising links, followed by the expansion of downstream segments and recycling.

The scientific novelty of this article lies in the integration of geological, technological, and institutional-political research into a unified analytical framework of the value chain and the substantiation of a phased model for the development of a full-cycle industry in Kazakhstan.

Keywords: rare metals, rare earth elements, critical minerals, value chain, processing, Kazakhstan.

Введение. Редкие и редкоземельные металлы (РМ и РЗЭ) превратились в один из ключевых ресурсов новой индустриальной эпохи. Их значимость определяется широким использованием в электромобилях, ветрогенераторах, силовой электронике, системах накопления энергии, аэрокосмической технике, оборонной промышленности и цифровой инфраструктуре. По мере ускорения энергетического перехода и цифровизации мировой экономики редкоземельные элементы становятся не только сырьевым, но и геоэкономическим фактором развития [1,2].

Международные аналитические обзоры показывают, что глобальная конкуренция смещается от простого доступа к месторождениям к контролю над всей цепочкой создания стоимости: от геологоразведки и добычи до разделения, химической переработки, производства функциональных материалов и рециклинга. В этой связи особое значение приобретают страны, способные встроиться в устойчивые цепочки поставок критических минералов и сократить внешнюю технологическую зависимость [3,4].

Для Казахстана данная проблематика имеет двойное значение. С одной стороны, страна располагает перспективной минерально-сырьевой базой и отдельными металлургическими компетенциями в сфере критических минералов. С другой стороны, в отечественной и зарубежной литературе исследования чаще всего сосредоточены либо на геологии и минералогии отдельных месторождений, либо на частных технологических решениях извлечения и разделения РЗЭ, тогда как системный анализ всей цепочки добавленной стоимости отрасли в разрезе Казахстана остается фрагментарным. В этом и состоит исследовательский разрыв (research gap), который особенно заметен в условиях роста международного интереса к критическим минералам и активизации промышленной политики ЕС, США и Китая [5,6].

В научной литературе принято различать редкие металлы как более широкую группу элементов, используемых в высокотехнологичных отраслях, и редкоземельные элементы как специфическую подгруппу, включающую скандий, иттрий и лантаноиды. При этом с точки зрения промышленной политики ключевым становится не только наличие ресурсов, но и способность последовательно организовать upstream-, midstream- и downstream-звенья отрасли. Гипотеза исследования состоит в том, что основное ограничение формирования полного производственного цикла редких и редкоземельных металлов в Казахстане связано не столько с дефицитом сырьевой базы, сколько с недоразвитием midstream- и downstream-звеньев - технологий разделения, глубокой химико-металлургической переработки, выпуска соединений и функциональных материалов, а также рециклинга.

Цель исследования - на основе систематизированного обзора современной литературы и официальных документов выявить структурные ограничения и перспективы развития отрасли редких и редкоземельных металлов Казахстана в логике полной цепочки добавленной стоимости. Для достижения цели решались следующие задачи:

- уточнить категориальный аппарат и место РМ/РЗЭ в системе критических минералов;

- систематизировать результаты исследований по ресурсной базе Казахстана;

- выделить ключевые технологические и институциональные ограничения на этапах

upstream–midstream–downstream;

- провести сравнительный анализ позиций Казахстана, Китая и Европейского союза;

- предложить поэтапную экономическую модель развития селективно-полного производственного цикла.

Научная новизна статьи состоит в том, что разрозненные геологические, технологические и институционально-политические исследования по редким и редкоземельным металлам интегрированы в единую аналитическую рамку цепочки стоимости. В отличие от описательных обзоров, статья не только систематизирует литературу, но и формирует авторскую интерпретацию наиболее реалистичной траектории развития отрасли в Казахстане.

Материалы и методы. Исследование выполнено в формате структурированного обзора литературы с опорой на логику PRISMA 2020, адаптированную для междисциплинарной тематики критических минералов. Такой подход позволил сделать процедуру отбора источников воспроизводимой и отделить доказательную академическую базу от новостных, публицистических и не рецензируемых материалов. Критериями включения являлись:

- рецензируемый статус публикации или официальный характер документа;

- непосредственная релевантность тематике РМ/РЗЭ, критических минералов и производственных цепочек;

- наличие результатов, пригодных для анализа в контексте Казахстана.

Исключались дублирующиеся публикации, новостные сообщения в качестве основной доказательной базы, видеоматериалы и не рецензируемые препринты без последующей верификации. В качестве аналитических инструментов использовались:

- тематический контент-анализ для группировки результатов по звеньям цепочки стоимости;

- сравнительный анализ Казахстана, Китая и Европейского союза по степени интеграции в value chain;

- экспертно-аналитический сценарный анализ для оценки возможных траекторий развития отрасли. Поскольку работа основана исключительно на опубликованных и открытых источниках, специальных процедур этического согласования исследования не требовалось.

Таблица 1 - Дизайн исследования и параметры отбора источников

№	**Параметр**	**Характеристика**
1	Формат исследования	Структурированный обзор литературы с адаптацией логики PRISMA 2020 для междисциплинарной тематики РМ/РЗЭ
2	Период публикаций	Преимущественно 2020–2025 гг.; для базовых работ допущены единичные более ранние источники
3	Итоговый корпус	32 источника, в том числе 24 рецензируемые научные публикации и 8 официальных документов
4	Критерии включения	Рецензируемый статус или официальный характер; релевантность тематике value chain, переработки, рециклинга и отраслевой политики
5	Критерии исключения	Новостные сообщения как основа доказательной базы, видеоматериалы, нерецензируемые препринты, дублирующие и нерелевантные источники
6	Методы анализа	Тематический контент-анализ; сравнительный анализ Казахстана, Китая и ЕС; экспертно-аналитический сценарный анализ
Примечание: Разработано авторами		

В статье «Комплексное исследование пространственных вариаций распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) и их потенциала в углях Шубаркольского месторождения, Казахстан» авторы пишут о необходимости поиска новых источников в металлургической отрасли. Кроме редкоземельных металлов Казахстан богат углем, из которого извлекаются металлы для получения чистой энергии. Исследования доказали, что получение редкоземельных металлов из твердых полезных ископаемых на месторождении Шубарколь, что уголь является потенциальным минеральным сырьем как источник получения редких металлов [6].

Еще одним источником редкоземельных металлов является месторождение Кундыбай в Северный Казахстан. Авторы подтверждают в своем исследовании, что редкоземельные металлы выщелачиваются из руды, которая является потенциальным источником редких и редкоземельных металлов. По мнению авторов, суммарное содержание всех РЗЭ в коре выветривания составляет 372,7 г/т, из них 82,6% составляют Sc, Y, La, Ce и Nd, находящиеся в виде комплексных солей и самородных минералов. По исследованиям ученых и геологических данных, месторождение Кундыбай является одним из основных и крупнейших месторождений РЗЭ в Центральной Азии. Содержание РЗЭ в этой руде колеблется в пределах 0,048-0,064%, а по некоторым данным достигает 0,320% [7].

Авторы Куаныш Тогизов, Людмила Исаева и др. в статье “Редкоземельные элементы в рудном поле Шок-Карагай (Сырымбетский рудный район, Северный Казахстан) и визуализация месторождений с использованием геоинформационной системы” изучают архитектуру месторождений Северного Казахстана и обосновывают, что редкоземельные элементы, отлагающиеся в ионно-адсорбционных глинисто-рудных месторождениях Северного Казахстана, выявляются с использованием минералогических и геохимических методов, а сам тип месторождения образовался в результате вторичных геологических процессов, то есть через выветривание и переноса осадков [8].

Авторы Дьячков Б.А., Ойцева Т. А., Зимановская Н.А., Бисатова А. Ю., Агалиева Б. Б. и Агеева О. В. исследуют закономерности формирования и пространственного размещения месторождений редких металлов в Калба-Нарымской зоне и других геологических структурах (Восточный Казахстан) [9].

В статье авторов Н. С. Мурзакасымовой, Н. А. Бектенова, М. А. Гавриленко “Сорбция редкоземельных металлов: обзор литературы” рассматриваются различные проблемы по восстановлению РЗМ и что среди множества методов восстановления или извлечения редкоземельных металлов из пород являются адсорбционные методы, наиболее экономичные и менее трудоемкие. В статье представлены недавно опубликованные литературные данные по удалению редкоземельных металлов водными растворами различных недорогих адсорбентов [10].

Таким образом, можно выделить основные исследования, проводимые казахстанскими учеными (Таблица 2):

Кроме того, были изучены публикации зарубежных ученых и проводимые исследования. Обзорная статья авторов Mustafa Rezaei, Gabriela Sanchez-Lecuona, Omid Abdolazimi, «A_Cross-Disciplinary Review of Rare Earth Elements Deposit Types Mineralogy_Machine_Learning_Environmental_Impact and_Recycling», охватывающая типы месторождений, минералогию, современные подходы, включая машинное обучение, а также экологические и утилизационные аспекты [11].

В исследовании авторов Bayarbayasgalan A., Amarsanaa D., Batchuluun B., et al. «Enhanced recovery of rare earth elements from carbonatite ore by biological pretreatment» описывается и рассматривается биологическая предварительная обработка руды для повышения выхода редкоземельных элементов по сравнению с прямым кислотным выщелачиванием [12]. В статье «Анализ данных о минерализации редкоземельных элементов: применение машинного обучения на основе данных синтеза функциональных материалов» авторы рассматривают применение методов машинного обучения к дан-

ным по минерализации редкоземельных металлов, что демонстрирует новые подходы к прогнозированию и поиску месторождений [13].

Таблица 2 - Ключевые исследования отечественных ученых

Название / Тема	Авторы / Год	Краткое содержание
A Comprehensive Study of the Spatial Variations in the Distribution of Rare Earth Elements (REE) and Their Potential in the Coals of the Shubarkol Deposit, Kazakhstan	Gulim Blyalova; Altynay Amangeldykyzy; A. N. Kopobayeva; Valentin Zhirkov; Stanislav Ryzhkov (2025)	Геохимическое исследование углей Шубаркольского месторождения: распределение редкоземельных элементов, оценка потенциала в качестве источника REE.
Investigation and Kinetic Analysis of Rare Earth Elements Leaching: Case Study of the Weathering Crust of the Kundybay Deposit (Northern Kazakhstan)	Rustam Tokpayev; Tamina Khavaza; Zair Ibraimov; Bagashar Zhaksybay; A. Ciorita; Kanagat Kishibayev; Elena Zlobina; Mikhail Nauryzbaev (2025)	Изучение выщелачивания REE из выветрелой коры руды на месторождении Кундыбай: разработка оптимальных условий извлечения, кинетический анализ.
Rare-earth metal sorption: literary review	N. S. Murzakassymova; N. A. Bektenov; M. A. Gavrilenko (2023)	Обзор методов сорбции как способа восстановления/извлечения редкоземельных металлов из техногенных и природных сред.
Rare earth elements in the Shok-Karagay ore fields (Northern Kazakhstan) and 3D visualization of deposits using GIS	Kuanysh Togizov; Lyudmila Issayeva; Daulet Muratkhanov; Madina Kurmangazhina; Maciej Swęd; Agata Duczmal-Czernikiewicz (2023)	Минералогически-геохимический анализ залежей, 3D-моделирование шихты и распределения REE, оценка запаса/распределения.
East Kazakhstan Rare Earths Deposits Formation	Boris A. Dyachkov; T.A. Oitseva; N.A. Zimanovskaya; A.Y. Bissatova; B. B. Agalieva; O. V. Ageeva (2021)	Обзор/исследование геологического строения ремней (гранитоидных структур) Восточного Казахстана, условий формирования редкометальных (в том числе REE) месторождений.

Количественное понимание механизмов минерализации редкоземельных элементов (РЗЭ), имеющих решающее значение для улучшения промышленного разделения, остается ограниченным. В этом исследовании в качестве модели природной минерализации РЗЭ используются 1239 точек данных гидротермального синтеза из материаловедческой науки. Мы обучили модели машинного обучения (KNN, RF, XG Boost), используя данные о прекурсорах, добавках и реакциях, для прогнозирования элементов и фаз продуктов, подтвердив прогнозы новыми экспериментами. Модель XG Boost показала наивысшую точность, при этом анализ важности признаков показал, что термодинамические свойства имеют решающее значение для прогнозов. Наблюдаемые корреляции между параметрами реакции соответствуют класси-

ческой теории кристаллизации. Кроме того, модели XG Boost успешно предсказали температуру реакции и PH на основе данных о прекурсорах/продуктах. Наши результаты демонстрируют междисциплинарную полезность данных материаловедческой науки для понимания геохимии, подчеркивают необходимость исследований менее изученных минералов РЗЭ (например, карбонатов, тяжелых РЗЭ) и предполагают потенциал для ускорения разработки ресурсов РЗЭ.

Следует отметить, что добыча и использование редкоземельных металлов играют ключевую роль не только внутри страны, но и в геополитическом пространстве. Развитие этого направления позволят не только отойти от сырьевой направленности, но и обеспечить устойчивое развитие обрабатывающей промышленности Казахстана на международном уровне. Авторы в статье «Редкоземельные металлы Казахстана: внешнеэкономическая политика и «ресурсное проклятие» пишут, чтобы конкурировать и стать одним из крупных игроков на международном рынке, необходимо использовать инновационные технологии и эффективные методы добычи этих ценных ресурсов [14]. Укрепление внешних связей на мировом рынке зависит от диверсификации экономики и увеличения экспортного потенциала редкоземельных металлов.

Результаты и обсуждение. Upstream: ресурсно-сырьевая база и геологические перспективы.

Систематизация отобранных исследований показывает, что наиболее плотная доказательная база по Казахстану сосредоточена прежде всего на upstream-звене –геологии, минералогии и первичном извлечении редких и редкоземельных элементов. Для Шу-баркольского месторождения продемонстрирован потенциал углей как альтернативного носителя редкоземельных элементов, что расширяет представления о возможной сырьевой базе за пределами классических рудных месторождений. Для Кундыбайского месторождения показаны перспективы выщелачивания РЗЭ из коры выветривания, а для Шок-Карагайского рудного поля - значимость GIS- и минерало-геохимических методов для пространственной визуализации, и оценки распределения элементов. Исследования по Восточному Казахстану также подтверждают, что формирование редкометальных и редкоземельных объектов имеет системный геологический потенциал, а не является набором изолированных кейсов. К upstream-сегменту следует отнести и недавнее официально подтвержденное выявление перспективного участка «Жаңа Қазақстан» в Карагандинской области. Однако с научной точки зрения важно подчеркнуть, что речь идет не о завершенной промышленной оценке запасов, а о прогнозных ресурсах и предварительных результатах геологоразведки, требующих дальнейшей верификации, технико-экономического обоснования и подтверждения извлекаемости. Это замечание принципиально, поскольку в отрасли критических минералов наличие перспективного объекта еще не означает автоматического формирования полноценной производственной цепочки.

Таким образом, для Казахстана можно констатировать наличие и расширение upstream-потенциала. Однако сама по себе ресурсная обеспеченность не устраняет системный разрыв между геологическим обнаружением ресурса и его превращением в высокотехнологичную продукцию. Следовательно, проблема развития отрасли смещается с вопроса «есть ли сырье?» к вопросу «какие звенья цепочки создают или блокируют добавленную стоимость?»

Midstream как ключевое ограничение полного цикла.

Именно midstream-звено является центральным узким местом развития отрасли. В мировой практике наибольшая доля добавленной стоимости формируется не на стадии первичной добычи, а на этапах разделения, очистки, химического преобразования, получения оксидов, солей, сплавов, прекурсоров и полуфабрикатов для высокотехнологичных производств. Поэтому страны, обладающие сырьем, но не контролирующие midstream-процессы, обычно остаются поставщиками концентратов или низко передельной продукции. Казахстанские исследова-

ния уже содержат важные заделы для midstream-сегмента: анализ выщелачивания и кинетики извлечения, сорбционные методы концентрирования, биоподготовка руд, а также современные обзоры по флотации, ионному обмену и экологическим аспектам разделения РЗЭ. Тем не менее обзор литературы показывает, что между лабораторными решениями и масштабируемой промышленной платформой сохраняется разрыв. В имеющихся исследованиях чаще рассматриваются отдельные стадии технологической цепочки, но существенно реже — интеграция технологического маршрута от руды к товарным соединениям требуемой чистоты и стандарта. Именно здесь подтверждается выдвинутая гипотеза исследования: ключевое ограничение Казахстана заключается не столько в отсутствии месторождений, сколько в недостаточном развитии глубокой переработки. Без индустриализации midstream-сегмента формирование «полного цикла» остается декларативным, даже при наличии благоприятной сырьевой базы и внешнего интереса со стороны международных партнеров.

В Казахстане имеются месторождения редкоземельных металлов – в Карагандинской, области Улытау, Северном Казахстане и некоторых других регионах. Совсем недавно было обнаружено новое крупное месторождение, названное «Жаңа Қазақстан» в Карагандинской области. В рамках государственной программы по изучению недр были проведены геологические исследования и открыты перспективные площади редкоземельных металлов. По данным Комитета геологии, этот участок может стать новым центром добычи стратегически важных металлов, на которые стремительно растет мировой спрос. Продовольственная, экологическая и экономическая безопасность должна обеспечиваться на основе развития зеленых технологий и чистых источников энергии. Альтернативные и стратегически важные источники являются основой, особенно в условиях глобальных кризисов. Так как уголь также является источником получения редкоземельных металлов, как утверждают авторы, то необходимо развивать эти направления, как с теоретической или научной, так и практической точки зрения. Согласно статистике 95% мировых рассыпных запасов редкоземельного «пирога» достались Китайской промышленности. Учитывая, что именно Китай производит наиболее высокотехнологичную продукцию, то использование в электронике, энергетике и электромашиностроении редкоземельные элементы, привели к значительному истощению запасов. Но мир увеличивает потребность, поэтому Китай, наращивая свои индустриальные обороты, находит новые альтернативные источники добычи и извлечения редкоземельных элементов.

В настоящее время Казахстан имеет базовые компетенции в сфере производства редких металлов. К примеру, одно из трех в мире бериллиевых (АО «УМЗ») и скандиевых (ТОО «Taza Metal Technologies») производств полного цикла, четырех танталониобиевых и рениевых (РГП «Жезказганредмет») находится в нашей стране. Казахстанский титан признан ведущими компаниями авиакосмической отрасли, автомобилестроения и занимает 11% доли мирового рынка и 21 % в авиакосмической отрасли. Также, при переработке цинкового концентрата ТОО «Казцинк» попутно извлекается висмут и сурьма, медного концентрата ТОО «Корпорация Казахмыс» - селен и теллурид меди. Также, на базе АО «Алюминий Казахстана» имеется технология по извлечению галлия из глинозема, на ТОО «Казцинк» - Индия из полиметаллического сырья. Придерживаясь многовекторной политики Казахстан в течение последних двух лет активно участвует в инициативах в сфере критических сырьевых минералов (КСМ) в рамках региональных форматов, а также на двустороннем уровне. Подтверждением этому служит подписание меморандумов и дорожных карт по стратегическому партнерству в сфере критических минеральных ресурсов с Европейским Союзом (ноябрь 2022 г.), Великобританией (март 2023 г.) и Францией (октябрь 2023 г.). С Соединенными Штатами Америки и Южной Кореей ведется работа в сфере геологического изучения проявлений КСМ. В декабре 2023 года утвержден Комплексный план развития отрасли редких и

редкоземельных металлов Казахстана на 2024–2028 гг., которые входят список критических сырьевых материалов. Более того, Казахстан в 2024 году стал полноправным членом Mineral Security Partnership (MSP) и готов внести посильный вклад в обеспечение безопасности глобальной цепочки поставок критических минералов и металлов. Для этого в стране имеются все необходимые предпосылки, включая диверсифицированную минерально-сырьевую базу, инфраструктуру, человеческий капитал и высокую компетенцию, а также развитую Midstream индустрию. Стоит подчеркнуть факт того, что Казахстан может обеспечить поставки 17 элемента из списка 50 видов критических сырьевых металлов США и 17 минералов из списка 34 критических сырьевых металлов Европейского союза. В целом, казахстанские предприятия производят такие критические металлы, как бериллий, титан, тантал, ниобий, рений, сурьма, висмут, селен, теллур в готовой форме первичного металла и в виде компонентов.

Критические сырьевые минералы (далее КСМ) –это полезные ископаемые с большим экономическим значением для экономики и технологий, также с высоким риском перебоев в их поставках из-за концентрации источников и отсутствия доступных заменителей. КСМ могут включать не только редкие и редкоземельные металлы (РЗМ), но и базовые металлы. Каждая технологически развитая страна имеет перечень особо востребованных металлов (КСМ). Редкоземельные металлы представляет группу из 17 элементов, включающая скандий, иттрий и лантаноиды (лантан, церий, празеодим, неодим, прометий, самарий, европий, гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий, лютеций). К базовым металлам относят группу металлов, которые играют ключевую роль в современной промышленности и экономике, обеспечивая основу для многих технологий и производств.

Таблица 3 - Информация по базовым металлам

Металл	**Запасы** *(млн. тонн)*	**Добыча** *(млн тонн)*	**Производство** *(тыс. тонн)*	**Доля KZ на рынке**	**Крупные производители**
Медь	36,5	149,2	417	3,9%	Казахмыс KAZ Minerals Казцинк
Алюминий	279	4,5	261	0,7%	ERG
Хром	315,9 *(руда)*	0,6	1 544 (ФХ)	-	
Марганец	643,4 *(руда)*	0,9	205 (ФСМ)	-	
Цинк	28,4	8,3	280	4,8%	Казцинк
Свинец	14,1		101	2,9%	
Никель	1,9	0	0	0%	-
Примечание: Данные получены из Отчета КП МПС, 2024					

Учитывая быстро растущие потребности автомобилестроения и альтернативной энергетики, в целях организации замкнутого цикла цепочки добавленной стоимости КСМ нами предлагается развитие отрасли в трех производственных секторах.

Производство батарейных материалов. Производство литий-ионных батарей. С 2021 по

2023 годы объем рынка литий-ионных батарей увеличился с 30 млрд долларов до 54 млрд долларов. К 2030 году прогнозируется увеличение в 2,7 раз (до 150 млрд долларов). Для производства литий-ионных батарей используются высокочистые прекурсоры лития, кобальта, никеля, марганца и графита. Для производства катодных материалов Казахстан располагает значимыми минеральными ресурсами, также целесообразно рассмотреть возможности организации импорта сырья. В первую очередь, необходимо объединить реализуемые проекты в один кластер для достижения дальнейших этапов добавленной стоимости в Казахстане.

Таблица 4 - Список КСМ в разных странах мира

Металлы\Страны	**США (50 минерал, 2022 г.)**	**ЕС (34 минерал, 2024 г.)**	**Британия (18 минерал, 2021 г.)**	**Канада (31 минерал, 2021 г.)**	**Австралия (24 минерал, 2019 г.)**
РЗМ	+	+	+	+	+
Литий	+	+	+	+	+
Графит	+	+	+	+	+
Тантал	+	+	+	+	+
Ниобий	+	+	+	+	+
Сурьма	+	+	+	+	+
Галлий	+	+	+	+	+
Магний	+	+	+	+	+
Ванадий	+	+	+	+	+
Кобальт	+	+	+	+	+
Никель	+	+	+	+	
Титан	+	+		+	+
Висмут	+	+	+		+
Вольфрам	+	+	+		+
Германий	+	+		+	+
Марганец	+	+		+	+
Платина/палладий		+	+	+	+
Олово	+		+	+	
Хром	+			+	+
Гафний	+	+			+
Теллур	+		+	+	
Индий	+			+	+
Плавиковый шпат	+	+		+	
Гелий		+		+	+
Алюминий/боксит	+	+		+	

Мышьяк	+	+			
Барит	+	+			
Бериллий	+	+			+
Цинк	+			+	
Цезий	+			+	
Молибден			+	+	
Медь		+		+	
Иридий	+				
Родий	+				
Рубидий	+				
Рутений	+				
Цирконий	+				
Стронций		+			
Фосфор		+			
Уран				+	
Рений					+
Кокс. уголь		+			
Борные руды		+			
Полевой шпат		+			
Примечание: Данные получены из Отчета КП МПС, 2024					

С текущего года на базе ТОО «Taza Metal Technologies» (г. Степногорск) выпускается один из прекурсоров-высокочистого моногидрата сульфата марганца. Мощность составляет 22,5 тыс. тонн HPMSM (5% мирового рынка). В качестве сырья используются ТМО месторождения Жезді. Продукция экспортируется в Марокко и Японию. С 2025 года планируется удвоить объем производства, что позволит контролировать 1/10 часть потребности мира. Есть дальнейшие планы по расширению. К 2026 году запланировано производство моногидрата железа фосфата (HPMFP) с объемом 50 тыс. тонн в год. У данного производства есть технологии выпуска высокочистых сульфатов никеля (HPNS) и кобальта (HPCS). Здесь рассматривается вовлечение существующих казахстанских месторождений кобальта и никеля, примерно в 2027 году.

На участке Куйректыколь активно проводились геологические исследования, на основе которых выделены перспективные зоны-Дос 1, Дос 2, Дос 3 и Иргиз, в пределах которых обнаружено девять рудных тел, насыщенных редкометалльной и редкоземельной минерализацией. На площадке «Жаңа Қазақстан» обнаружены большие запасы редких металлов общей площадью 134,6 квадратных километров, и в перспективе эти объемы могут стать эффективным объектом для промышленного освоения.

Министерство промышленности и строительства РК сообщает, что на участок выдана лицензия на разведку АО «Таукен-Самрук». В ближайшие годы компания проведет детальные геологоразведочные работы, включая бурение, лабораторный анализ и расчет запасов. Разведочный период рассчитан на шесть лет. Только после подтверждения запасов будет определена экономическая целесообразность проекта, вклю-

чая строительство инфраструктуры и создание предприятий по переработке редкоземельного сырья. Министерство также рассматривает возможность привлечения крупных международных партнеров. Это позволит обеспечить:

- трансферт технологий устойчивой добычи;

- совместные инвестиции и распределение рисков;

- долгосрочные оффтейк-контракты;

- ускоренное развитие производственной инфраструктуры.

В строй привлечь иностранных инвесторов планируется и потому, что технологии добычи и обогащения редкоземельных металлов сегодня в наибольшей степени развиты в США и Китае. Открытие месторождения «Жаңа Қазақстан» может стать толчком для формирования в стране полноценного редкоземельного кластера. Эти металлы -основа современной «зеленой» экономики. Без них невозможно производство аккумуляторов, электромобилей, ветровых и солнечных станций, смартфонов и высокотехнологичной электроники. Для Казахстана это шанс занять новую нишу на глобальном рынке и укрепить стратегическую независимость в сфере критически важных ресурсов. Министерство промышленности отмечает, что участок получил своё имя -«Жаңа Қазақстан» -от подрядной организации в знак начала нового этапа развития страны. Ранее сообщалось, что по итогам геологоразведочных работ впервые в Казахстане поставлены на учет пять месторождений: Кок-Жон (участок Болаттобе), Алтын-Шоко, Самомбет, Студенческий и Такыр-Кальджир.

Одно из крупнейших месторождений графита в мире-Сарытоган находится в Казахстане. Контракт на разведку № 5406-ТПИ с ТОО «Уштоган» (дочерняя компания австралийской Sarytogan Graphite Ltd) действует до 2025 года. Добычу графитовой руды планируется начать в 2026 году со строительством обогатительной фабрики с мощностью переработки 750 тыс. тонн руды в год. Продукт переработки-графитовый концентрат. Проект находится на стадии предварительного ТЭО. Также, инвестор намерен построить Завод по термической очистке концентрата, который будет выпускать микрокристаллический графит и различные виды сфероризированного графита, который применяется в щелочных, литий-ионных батареях.

Общий объем инвестиций оценивается на 300 млн долларов, в том числе ЕБРР-3 млн евро на развитие программы компании, включая подготовку технико-экономическое обоснование и пополнение оборотного капитала. Тем самым приобретает долю в компании Sarytogan Graphite Ltd-17,36% акций компании. Для выпуска гидроксида лития будет использовано отечественное сырье либо будет рассматриваться возможность импорта сырья. На литиевых месторождениях ведутся геологоразведочные работы с участием международных инвесторов и технологических партнеров (HMS Bergbau AG, KIGAM, LG Energy Solution, SK Ecoplant, Umicore).

Немецкой компанией Bergbau AG реализуются проекты по разработке литиевых месторождений с общей суммой инвестиций 500 млн долларов. В марте 2024 года Корейский институт геолого-геофизических исследований и минеральных ресурсов (KIGAM) обнаружил новое месторождение лития с содержанием 5,3% в Восточном Казахстане. Его стоимость может составить 15,7 млрд долларов. Таким образом, ввиду малоизученности рудных проявлений лития могут быть найдены гораздо больше запасов, чем доказанный объем балансовых запасов по РК, порядка 76 тыс. тонн. Успешная организация производства всех видов прекурсоров свыше 100 тыс. тонн в год закрепит позиции страны в Midstream сегменте, как крупнейшего производителя батарейных материалов в мире. Это создаст необходимые условия для организации выпуска самих аккумуляторов мировыми известными игроками в стране. Рециклинг и производство материалов деталей реактивных двигателей. Жаропрочные никелевые сплавы составляют 40–50% от общего веса авиационного двигателя. ЖНС могут включать такие металлы как молибден, тантал, рений, титан, вольфрам, кобальт, хром, алюминий, рутений, гафний и дру-

гие.

Мировой рынок реактивных авиадвигателей оценивается в 94,3 млрд долларов в 2023 году и ожидается, что он достигнет 187 млрд долларов к 2032 году, при среднегодовом темпе роста 7,92%. Основными мировыми игроками в сфере производства реактивных авиадвигателей являются: Pratt & Whitney (США), General Electric Aviation (США), SAFRAN (Франция) и Rolls-Royce (Великобритания). Из-за высоких расходов на техобслуживание реактивных двигателей (50 млрд долларов) и его восстановление (200 тысяч до 15 млн долларов) доступны условия для Казахстана занять собственную нишу в цепочке выпуска двигателей путем налаживания производства жаропрочные никелевые сплавы на основе рения, тантала, вольфрама, никеля и кобальта. С текущего года с применением отечественных и зарубежных знаний и разработок на базе РГП «Жезказганредмет» налажен рециклинг жаропрочных никелевых сплавов. Отечественные технологии позволяют переработать отработанные лопасти практически всех производителей реактивных авиадвигателей.

В настоящее время подписаны коммерческие контракты на сумму 2,5 млн долларов, согласно которым отечественное предприятие ежегодно будет перерабатывать 65 тонн лома жаропрочных никелевых сплавов. Расширить кластер рециклинга отработанных турбинных лопаток возможно с локализацией выплавки жаропрочных никелевых сплавов с добавлением рения на базе АО «УМЗ» совместно с компанией Alloyed (Великобритания). Компания Alloyed предоставляет на выбор две технологии: традиционный метод получения литья и современный метод послойного синтеза, известный также как аддитивное производство или 3D принтинг.

Следует отметить, что редкие металлы встречаются в земных недрах в незначительных количествах, являются трудноизвлекаемыми, поэтому их добыча и переработка достаточно сложные и капиталоемкие процессы. К ним относятся литий, бериллий, ниобий, тантал, индий, галлий, германий. Эти металлы имеют высокую ценность в области космической промышленности, атомной энергетике, авиа и ракетостроении, поэтому их добыча, переработка и получение готовой продукции для применения является архиважной задачей.

Таблица 5 - Особенности редких и редкоземельных металлов

Критерий	Редкие металлы	Редкоземельные металлы
Объём группы	Широкая	Узкая (17 элементов)
Статус	Общая категория	Подгруппа
Сложность добычи	Высокая	Очень высокая
Применение	Промышленность	Высокие технологии

К редкоземельным металлам относят подгруппу редких металлов с магнитными свойствами, а также имеют электрические и оптические характеристики элементов. Они также трудноизвлекаемые, к тому же трудно разделяемые и очищаемые. К ним относятся: Лантан, Церий, Празеодим, Неодим, Прометий, Самарий, Европий, Гадолиний, Тербий, Диспрозий, Гольмий, Эрбий, Тулий, Иттербий, Лютеций, Скандий, Иттрий, то есть 15 видов лантаноидов плюс скандий (Sc) и иттрий (Y). Являясь мощными магнетиками, редкоземельные металлы будут применяться успешно в лазерном и оптическом производстве, аккумуляторных и катализаторных продуктах, электронике и оборонной промышленности. В условиях технологического развития и перехода к цифровой и низкоуглеродной экономике изучение данных металлов приобретает особую значимость.

Downstream и рециклинг: где формируется

стратегическая добавленная стоимость

Downstream-звено представляет собой ту часть цепочки, где редкие и редкоземельные элементы превращаются в функциональные материалы и конечные изделия: постоянные магниты, специальные сплавы, катализаторы, полировальные материалы, оптические компоненты, элементы электроники и оборудования для энергетического перехода. Современные исследования показывают, что именно сегмент постоянных магнитов становится наиболее стратегическим, поскольку он связывает РЗЭ с электромобилями, ветрогенераторами, электрическими машинами и силовыми приводами. Для Казахстана downstream-направление пока является наиболее слабым звеном. Имеющиеся металлургические компетенции и отдельные производства создают важный институциональный старт, однако масштабной индустриальной экосистемы по выпуску магнитов, функциональных порошков и сложных материалов пока не сформировано. Особенно показательным является европейский опыт: даже при высоком технологическом уровне ЕС по-прежнему сталкивается с барьерами при построении замкнутых цепочек РЗЭ, включая сбор отходов, переработку магнитов, стандартизацию и организацию спроса на вторичное сырье. В этих условиях более реалистичным для Казахстана является не буквальное стремление локализовать все downstream-сегменты одновременно, а выбор нескольких продуктовых ниш с наибольшим сочетанием технологической достижимости, экспортной перспективности и синергии с существующей металлургической базой. Такой подход позволяет интерпретировать «полный цикл» не как тотальную самодостаточность, а как поэтапное наращивание тех звеньев, где страна способна создавать устойчивую добавленную стоимость.

Сравнительный анализ Казахстана, Китая и Европейского союза.

Сравнительный анализ Казахстана, Китая и Европейского союза позволяет точнее определить стратегическое положение страны. Китай сохраняет наиболее интегрированную модель развития отрасли: от добычи и разделения до производства магнитов и использования РЗЭ в промышленной продукции. Его преимущество заключается не только в масштабах добычи, но и в исторически сформированной промышленной координации между upstream-, midstream- и downstream-сегментами [15,16].

Таблица 6 - Цепочка добавленной стоимости РМ/РЗЭ и позиционирование Казахстана

Звено	Содержание	Текущее состояние в Казахстане	Ключевые ограничения	Приоритетные направления
Upstream	Геологоразведка, оценка ресурсов, добыча, первичное обогащение	Наличие перспективных объектов и научных исследований по месторождениям и альтернативным источникам	Неравномерная подтвержденность запасов; разрыв между выявлением объекта и промышленной оценкой	Ускорение геологоразведки, стандартизация оценки, технологические тесты извлекаемости

Midstream	Разделение РЗЭ, химическая очистка, получение оксидов, солей, сплавов и прекурсоров	Научные заделы и лабораторные решения имеются, но индустриальная масштабируемость ограничена	Главное узкое место отрасли; зависимость от внешних технологий и мощностей глубокой переработки	Создание пилотных и промышленных мощностей по разделению и химико-металлургической переработке
Downstream	Постоянные магниты, функциональные порошки, специальные сплавы, катализаторы, компоненты для энергетики и электроники	Фрагментарные компетенции без развернутой промышленной экосистемы	Высокий технологический порог входа; ограниченный внутренний спрос; нехватка стандартизации и кооперации	Селективная локализация нескольких ниш с высокой добавленной стоимостью
Примечание: Разработано авторами на основе аналитического исследования				

Таблица 7 – Сравнение позиционирования Казахстана, Китая и ЕС в цепочке стоимости РМ/РЗЭ

Критерий	Казахстан	Китай	Европейский союз
Ресурсная база	Перспективная, но по ряду объектов требует дополнительной верификации	Широкая и давно вовлеченная в промышленный оборот	Ограниченная, компенсируется внешними партнерствами
Глубина переработки (midstream)	Ограниченная; ключевое узкое место	Высокая степень интеграции и промышленной концентрации	Целенаправленно наращивается через industrial policy и переработку
Downstream-продукция	Селективные компетенции, но нет масштабной экосистемы РЗЭ-материалов	Развитое производство магнитов, материалов и компонентов	Сильные технологические компании, но сохраняется зависимость по отдельным звеньям
Рециклинг и циркулярность	Формируется на концептуальном и пилотном уровне	Развивается, но уступает первичной переработке по масштабу	Активно институционализируется как часть CRMA и циркулярной экономики
Государственная политика	На стадии консолидации планов, партнерств и отраслевых приоритетов	Долгосрочная координация между добычей, переработкой и промышленностью	Регуляторно ускоряемая локализация критических звеньев цепочки
Стратегический вывод для Казахстана	Нужна смешанная модель: ресурсная опора + ускорение midstream + селективный downstream + рециклинг	-	-

Европейский союз, напротив, обладает более ограниченной ресурсной базой, но активно компенсирует это через промышленную политику, нормативное регулирование, поддержку переработки и международные партнерства. Принятие Critical Raw Materials Act закрепляет логику диверсификации и локализации критически значимых стадий цепочки, включая добычу, переработку и рециклинг. В этом смысле ЕС демонстрирует модель институционально ускоряемого развития отрасли даже при внешней зависимости от части сырья [17,18].

Казахстан занимает промежуточное положение. С одной стороны, страна имеет более благоприятную ресурсную позицию, чем ЕС, и уже вовлечена в международные партнерства по критическим минералам. С другой стороны, по глубине переработки и выпуску высокотехнологичной продукции Казахстан существенно уступает Китаю и не располагает столь же развернутой регуляторно-индустриальной архитектурой, как ЕС. Следовательно, для Казахстана наиболее рациональна смешанная модель: опора на собственную сырьевую базу, ускоренное развитие midstream, селективное формирование downstream и расширение рециклинга.

Таблица 8 - Сценарии развития отрасли редких и редкоземельных металлов Казахстана

Сценарий	Содержание	ДС (1-3)	ТС (1-3)	ВЗ (1-3)	Краткая интерпретация
Инерционный (сырьевой)	Экспорт концентратов и низкопередельной продукции	1	1	3	Минимальные краткосрочные инвестиции, но слабая технологическая суверенность
Индустриализация midstream	Разделение, очистка и выпуск оксидов / солей / полуфабрикатов	2	2	2	Наиболее рациональный среднесрочный этап усиления внутренней добавленной стоимости
Селективно-полный цикл	Midstream + ограниченный downstream + рециклинг	3	3	1–2	Наиболее сложный, но стратегически предпочтительный долгосрочный сценарий
Таблица представляет авторскую аналитическую интерпретацию на основе результатов обзора литературы. 1 — низкое значение; 2 — среднее; 3 — высокое значение. ДС — Добавленная Стоимость, ТС — Технологическая Сложность, ВЗ — Внешняя Зависимость					

Экономическая модель развития отрасли и сценарии для Казахстана.

На основе проведенного обзора предлагается экономическая модель селективно-полного производственного цикла. Ее логика состоит в том, что при ограниченных ресурсах государства и бизнеса необходимо концентрироваться не на максимальном охвате всех возможных переделов, а на приоритетных звеньях, где одновременно присутствуют:

а) подтверждаемый ресурсный потенциал;

б) технологическая достижимость;

в) существующие металлургические компетенции;

г) прогнозируемый спрос со стороны мировых цепочек поставок.

В практическом выражении модель включает три фазы.

Первая фаза-ресурсно-технологическая: ускорение геологоразведки, стандартизация оценки ресурсов, пилотные технологические испытания и формирование базы данных по технологическим маршрутам переработки.

Вторая фаза-индустриализация midstream: создание мощностей по разделению, очистке и выпуску оксидов, солей и полуфабрикатов батарейного и магнитного назначения.

Третья фаза-селективный downstream и рециклинг: локализация наиболее перспективных продуктовых ниш, прежде всего магнитных материалов, специальных сплавов и вторичной переработки РЗЭ-содержащих отходов.

Сценарный анализ показывает, что инерционный путь с сохранением сырьевой специализации обеспечивает наименьшую внутреннюю добавленную стоимость и усиливает внешнюю зависимость. Сценарий индустриализации midstream создает более устойчивую промышленную основу и повышает экспортную позицию страны. Наиболее сложным, но и наиболее перспективным выступает сценарий селективно-полного цикла, при котором формирование downstream сочетается с развитием рециклинга и международных партнерств по технологиям. Именно этот сценарий в долгосрочной перспективе способен обеспечить Казахстану устойчивое место в глобальной архитектуре критических минералов.

Выводы. Проведенный систематизированный обзор показывает, что проблема развития отрасли редких и редкоземельных металлов Казахстана заключается не в отсутствии исследовательского интереса или потенциальной ресурсной базы, а в недостаточной связности отдельных звеньев цепочки добавленной стоимости. На основании корпуса из 32 источников установлено, что отечественная научная база наиболее развита в части геологии, минералогии и отдельных технологий извлечения, тогда как вопросы масштабируемого разделения, глубокой переработки и выпуска функциональных материалов остаются существенно менее проработанными.

Гипотеза исследования получила подтверждение: ключевым ограничением формирования полного производственного цикла в Казахстане выступает не столько upstream-сегмент, сколько дефицит midstream- и downstream-компетенций. Следовательно, дискуссия о «полном цикле» должна быть смещена с декларативного уровня на уровень конкретных индустриальных связок: ресурс-технология разделения-химическая переработка-функциональный материал-рециклинг.

Сравнение Казахстана с Китаем и Европейским союзом показывает, что наиболее реалистичной стратегией является смешанная модель селективной индустриализации. Она предполагает использование собственных ресурсных преимуществ, ускоренное наращивание глубокой переработки, развитие ограниченного числа downstream-направлений и опору на международные технологические партнерства без закрепления роли страны как исключительно сырьевого поставщика.

Практическая значимость результатов состоит в обосновании поэтапной модели развития отрасли: от усиления геологоразведки и пилотных технологий к индустриализации midstream и затем к локализации наиболее перспективных downstream-ниш. Такой подход может быть использован при корректировке отраслевой политики, разработке технологических дорожных карт и выборе инвестиционных приоритетов в сфере критических минералов. Перспективы дальнейших исследований связаны с построением количественных технико-экономических моделей отдельных производственных цепочек в Казахстане, оценкой экспортных ниш по группам металлов, а также с анализом экологических ограничений и институциональных условий рециклинга редких и редкоземельных элементов.

Цепочка производства постоянных магнитов.

Редкоземельные металлы широко применяются (20% рынка РЗМ) в производстве устойчивых редкоземельных магнитов, являющихся важной частью радаров и всех видов коммуникационных систем. Они незаменимы в актуаторах, применяемых в ракетных системах, спутниках и системах авиационного контроля. На сегодняшний день самым мощным из постоянных магнитов являются неодимовые магниты. К сравнению, если коэрцитивная сила самарий-кобальтовых магнитов приравнивается к 26, то в неодимовых магнитах доходит с 35 до 52 МГО (мега-гаусс-орштедт). Неодим железо-боровые

магниты (Nd Fe B магниты) изготовлены из сплава, состоящего в основном из неодима (29-32%), железа (64–68%) и бора (1-1.2%). Также, содержится: Al (0.2–0.4%), Nb (0.5-1%), Dy (0.8-1.2%). На базе РГП «Жезказганредмет» имеется возможность рециклинга постоянных магнитов. В этой связи прорабатывается сотрудничество с Ionic Rare Earths (Австралия) по передаче технологии с дальнейшим созданием совместного предприятия. В настоящее время соглашение о конфиденциальности NDA по передаче технологий согласован и находится на подписании у Ionic Rare Earths.

В настоящее время получено 10 кг магнитов для опытно-лабораторных испытаний для апробирования технологии на ЖРМ. Однако, для реализации указанных процессов и выполнения международных обязательств по контрактам на переработку лома редких металлов Жезказганредмет требуется закупить специальное оборудование. При успешной реализации проектов Казахстан сможет восстановить компетенцию полного цикла производства РЗМ с извлечением оксидов неодима, празеодима и диспрозия.

Из выполненного обзора можно заключить, что в настоящее время правительство уделяет пристальное внимание добыче и производству редкоземельных металлов. Изучив публикации отечественных и зарубежных ученых, а также проводимые исследования, можно отметить, что в Казахстане активно развивается направление по оценке не только традиционных и известных способов выделения редкоземельных элементов, но и нетрадиционные виды выветривания руды (Шубарколь, Кундыбай), адсорбционные методы (Шок-Карагай), а также проявляется интерес к новейшим видам уникальных технологий. К ним можно отнести более экологичные и Smart методы, такие как биологическая просушка, машинное обучение для прогноза минерализации, переработка отходов, что соответствует общемировым трендам и технологическому спросу. Правительство считает, что в перспективе обрабатывающая промышленность должна развиваться за счет производства редких и редкоземельных металлов. Казахстан целенаправленно планирует развивать и повышать долю зеленой энергии до 15% к 2030 году. Для этого необходимо увеличить коэффициент локализации на внутреннем рынке, производить солнечные панели и ветровые турбины. И развитие перспективного сектора для Казахстана-это «новая нефть XXI века» или редкие и редкоземельные металлы для приоритетных отраслей обрабатывающей и перерабатывающей отраслей.

Следует отметить, что глобальные тренды в индустриальном секторе направлены на цифровые и электронные технологии, поэтому спрос на критические минералы особенно повышен и Казахстан способен обеспечить за счет богатых залежей руд в недрах. Необходимо совершенствовать технологии по добыче и выделению редкоземельных металлов из руд и вкладывать качественные инвестиции.

Финансирование. *Исследование выполнено в рамках проекта* ***ИРН BR24992789*** *“Разработка стратегии ускоренной технологической диверсификации и новой промышленной политики Казахстана».*

Литература

1. Ghorbani Y., Ilankoon I.M.S.K., Dushyantha N., Nwaila G.T. Rare earth permanent magnets for the green energy transition: Bottlenecks, current developments and cleaner production solutions//Resources, Conservation and Recycling. -2025. -Vol.212: 107966. DOI 10.1016/j.resconrec.2024.107966.

2. Popa D.-C., Szabó L. Securing Rare Earth Permanent Magnet Needs for Sustainable Energy Initiatives // Materials. -2024. -Vol.17(22): 5442. DOI 10.3390/ma17225442.

3. Popa D.-C., Szabó L. Overcoming Catch-22 for rare earth metals in green transition: Solutions in electrical machine manufacturing //Renewable and Sustainable Energy Reviews. -2025. -Vol.207: 114917. DOI 10.1016/j.rser.2024.114917.

4. International Energy Agency. Global Critical Minerals Outlook 2025. aris: IEA, 2025. – URL: -Дата обращения: 21.05.2025

5. Liu S.-L., Fan H.-R., Liu X., et al. Global rare earth elements projects: New developments and supply chains//Ore Geology Reviews. -2023.-Vol.157:105428. DOI 10.1016/j.oregeorev.2023.105428.

6. Blyalova G., Amangeldykyzy A., Kopobayeva A., Zhirkov V., Ryzhkov S. A Comprehensive Study of the Spatial Variations in the Distribution of Rare Earth Elements (REE) and Their Potential in the Coals of the Shubarkol Deposit, Kazakhstan//Minerals. -2025.-Vol.15(2):170. DOI 10.3390/min15020170.

7. Tokpayev R., Khavaza T., Ibraimov Z., Zhaksybay B., Ciorita A., Kishibayev K., Zlobina E., Nauryzbayev M. Investigation and Kinetic Analysis of Rare Earth Elements Leaching: Case Study of the Weathering Crust of the Kundybay Deposit (Northern Kazakhstan)//Minerals. -2025. -Vol.15(5): 444. DOI 10.3390/min15050444.

8. Togizov K., Issayeva L., Muratkhanov D., Kurmangazhina M., Swęd M., Duczmal-Czernikiewicz A. Rare Earth Elements in the Shok-Karagay Ore Fields (Syrymbet Ore District, Northern Kazakhstan) and Visualisation of the Deposits Using the Geographic Information System // Minerals. -2023. -Vol.13(11): 1458. DOI 10.3390/min13111458.

9. Dyachkov B.A., Oitseva T.A., Zimanovskaya N.A., Bissatova A.Y., Agalieva B.B., Ageeva O.V. East Kazakhstan Rare Earths Deposits Formation // Aspects in Mining & Mineral Science. -2021. -Vol.7(1). -P.785-786. DOI 10.31031/AMMS.2021.07.000655.

10. Мурзакасымова Н.С., Бектенов Н.А., Гавриленко М. А. Сорбция редкоземельных металлов: литературный обзор. – Химический журнал Казахстана. -2020. - №3 (71). - С.214-235.

11. Rezaei M., Sanchez-Lecuona G., Abdolazimi O. A Cross-Disciplinary Review of Rare Earth Elements: Deposit Types, Mineralogy, Machine Learning, Environmental Impact and Recycling // Minerals. -2025. -Vol. 15(7): 720. DOI 10.3390/min15070720.

12. Bayarbayasgalan A., Amarsanaa D., Batchuluun B., et al. Enhanced Recovery of Rare Earth Elements from Carbonatite Ore by Biological Pretreatment // RSC Advances. -2025. -Vol.15(6): 4628-4635. DOI 10.1039/D4RA07845D.

13. Туманшиев Д.А., Исова Л.Т, Жұмақанов Ә. Қазақстанның сирек кездесетін металдары: сыртқы экономикалық саясат. - Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы. - 2025.- № 2(151). - Б.54-67. DOI 10.32523/2616-6887-2025-151-2-54-67.

14. Julapong P., Numprasanthai A., Tangwattananukul L., et al. Rare Earth Elements Recovery from Primary and Secondary Resources Using Flotation: A Systematic Review//Applied Sciences. -2023. -Vol.13(14): 8364. DOI 10.3390/app13148364.

15. Pathapati S.V.S.H., Free M.L., Sarswat P.K. A Comparative Study on Recent Developments for Individual Rare Earth Elements Separation//Processes. -2023.-Vol.11(7):2070. DOI 10.3390/pr11072070.

16. Rizos V., Righetti E., Kassab A. Understanding the barriers to recycling critical raw materials for energy transition: The case of rare earth permanent magnets // Energy Reports. -2024. -Vol.12: 1673-1682. DOI 10.1016/j.egyr.2024.07.022.

17. Taglieri L., Fratocchi L. Made in Europe Recovery of Rare Earth Elements: Is a Circular and Sustainable Value Chain Really Possible? // IFAC-PapersOnLine. -2025. -Vol.59(10): 1510-1515. DOI 10.1016/j.ifacol.2025.09.254.

18. El Ouardi Y., Virolainen S., Mouele E.S.M., et al. The recent progress of ion exchange for the separation of rare earths from secondary resources: A review// Hydrometallurgy. -2023. -Vol.218: 106047. DOI 10.1016/j.hydromet.2023.106047.

References

1. Ghorbani Y., Ilankoon I.M.S.K., Dushyantha N., Nwaila G.T. Rare earth permanent magnets for the green energy transition: Bottlenecks, current developments and cleaner production solutions//Resources, Conservation and Recycling. -2025. -Vol.212: 107966. DOI 10.1016/j.resconrec.2024.107966.

2. Popa D.-C., Szabó L. Securing Rare Earth Permanent Magnet Needs for Sustainable Energy Initiatives // Materials. -2024. -Vol.17(22): 5442. DOI 10.3390/ma17225442.

3. Popa D.-C., Szabó L. Overcoming Catch-22 for rare earth metals in green transition: Solutions in electrical machine manufacturing //Renewable and Sustainable Energy Reviews. -2025. -Vol.207: 114917. DOI 10.1016/j.rser.2024.114917.

4. International Energy Agency. Global Critical Minerals Outlook 2025. aris: IEA, 2025. – URL: - Data obrashhenija: 21.05.20255.

5. Liu S.-L., Fan H.-R., Liu X., et al. Global rare earth elements projects: New developments and supply chains//Ore Geology Reviews. -2023.-Vol.157:105428. DOI 10.1016/j.oregeorev.2023.105428.

6. Blyalova G., Amangeldykyzy A., Kopobayeva A., Zhirkov V., Ryzhkov S. A Comprehensive Study of the Spatial Variations in the Distribution of Rare Earth Elements (REE) and Their Potential in the Coals of the Shubarkol Deposit, Kazakhstan//Minerals. -2025.-Vol.15(2):170. DOI 10.3390/min15020170.

7. Tokpayev R., Khavaza T., Ibraimov Z., Zhaksybay B., Ciorita A., Kishibayev K., Zlobina E., Nauryzbayev M. Investigation and Kinetic Analysis of Rare Earth Elements Leaching: Case Study of the Weathering Crust of the Kundybay Deposit (Northern Kazakhstan)//Minerals. -2025. -Vol.15(5): 444. DOI 10.3390/min15050444.

8. Togizov K., Issayeva L., Muratkhanov D., Kurmangazhina M., Swęd M., Duczmal-Czernikiewicz A. Rare Earth Elements in the Shok-Karagay Ore Fields (Syrymbet Ore District, Northern Kazakhstan) and Visualisation of the Deposits Using the Geographic Information System // Minerals. -2023. -Vol.13(11): 1458. DOI 10.3390/min13111458.

9. Dyachkov B.A., Oitseva T.A., Zimanovskaya N.A., Bissatova A.Y., Agalieva B.B., Ageeva O.V. East Kazakhstan Rare Earths Deposits Formation // Aspects in Mining & Mineral Science. -2021. -Vol.7(1). -P.785-786. DOI 10.31031/AMMS.2021.07.000655.

10. Murzakasymova N.S., Bektenov N.A., Gavrilenko M. A. Sorbcija redkozemel' nyh metallov: literaturnyj obzor. – Himicheskij zhurnal Kazahstana. -2020. - №3 (71). - S.214-235.[in Russian]

11. Rezaei M., Sanchez-Lecuona G., Abdolazimi O. A Cross-Disciplinary Review of Rare Earth Elements: Deposit Types, Mineralogy, Machine Learning, Environmental Impact and Recycling // Minerals. -2025. -Vol. 15(7): 720. DOI 10.3390/min15070720.

12. Bayarbayasgalan A., Amarsanaa D., Batchuluun B., et al. Enhanced Recovery of Rare Earth Elements from Carbonatite Ore by Biological Pretreatment // RSC Advances. -2025. -Vol.15(6): 4628-4635. DOI 10.1039/D4RA07845D.

13. Tumanshiev D.A., Isova L.T, Zhұmaқanov Ә. Қazaқstannyң sirek kezdesetin metaldary: syrtқy jekonomikalyқ sajasat. - L.N. Gumilev atyndaғy Eurazija ұlttyқ universitetinің habarshysy. - 2025.- № 2(151). - B.54-67. DOI 10.32523/2616-6887-2025-151-2-54-67. [in In Kazakh]

14. Julapong P., Numprasanthai A., Tangwattananukul L., et al. Rare Earth Elements Recovery from Primary and Secondary Resources Using Flotation: A Systematic Review//Applied Sciences. -2023. -Vol.13(14): 8364. DOI 10.3390/app13148364.

15. Pathapati S.V.S.H., Free M.L., Sarswat P.K. A Comparative Study on Recent Developments for Individual Rare Earth Elements Separation//Processes. -2023.-Vol.11(7):2070. DOI 10.3390/pr11072070.

16. Rizos V., Righetti E., Kassab A. Understanding the barriers to recycling critical raw materials for energy transition: The case of rare earth permanent magnets // Energy Reports. -2024. -Vol.12: 1673-1682. DOI 10.1016/j.egyr.2024.07.022.

17. Taglieri L., Fratocchi L. Made in Europe Recovery of Rare Earth Elements: Is a Circular and Sustainable Value Chain Really Possible? // IFAC-PapersOnLine. -2025. -Vol.59(10): 1510-1515. DOI 10.1016/j.ifacol.2025.09.254.

18. El Ouardi Y., Virolainen S., Mouele E.S.M., et al. The recent progress of ion exchange for the separation of rare earths from secondary resources: A review// Hydrometallurgy. -2023. -Vol.218: 106047. DOI 10.1016/j.hydromet.2023.106047.

Сведения об авторах

Тайкулакова Г.- кандидат экономических наук, профессор Школы Экономики и Финансов, Алматы Менеджмент Университета, г. Алматы, Республика Казахстан, e-mail: gulnuratgs@mail.ru;

Баядилова Л.- магистр экономических наук Школы Экономики и Финансов, Алматы Менеджмент Университета, г.Алматы, Республика Казахстан, e-mail: loribayadilova@gmail.com;

Андаков М. - магистр экономических наук, эксперт по обрабатывающей промышленности ГП ПЦФ, e-mail: m.andakov@mps.gov.kz.

Information about authors

G.Taikulakova -candidate of economic sciences, professor of the School of Economics and Finance, Almaty Management University, Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: gulnuratgs@mail.ru;

L. Bayadilova- master economic sciences, School of Economics and Finance, Almaty Management University, Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: loribayadilova@gmail.com;

M. Andakov, Master of Economics, Manufacturing Industry Expert, Participant of the Grant Project for Program-Targeted Financing, e-mail: m.andakov@mps.gov.kz.

ҒТАХР 06.71.57 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1366**

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ АГРОТУРИЗМ: ӨҢІРЛІК ТАРТЫМДЫЛЫҚ ЖӘНЕ ДАМУ ПЕРПЕКТИВАЛАРЫ

[1]Ж.Қ. Ержанова, [1]Е.С. Жангалиева, [1]Ә.Б. Ғабділкәкім, [2]А.Б. Егзалиева, [2]А.Е. Таласпаева
[1]Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал., Қазақстан,
[2]М.Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Орал., Қазақстан

Корреспондент-автор: yelnaz@mail.ru

Қазақстан Республикасында ішкі туризмді дамыту үшін агротуризм саласын қалыптастырып, дамыту ауылдық елді мекендердің экономикалық өсуін қолдауға, мәдени мұраны сақтап, аймақтағы экологиялық жағдайды қалыпты сақтауға мүмкіндік береді. Мақалада Қазақстан Республикасындағы агротуризм саласының негізгі мәселелері мен оны шешу жолдары қарастырылған. Сондай-ақ, агротуризм ел экономикасының стратегиялық бағыты ретіндегі туристік саладағы ауылшаруашылығы туризмінің маңызы, оның өңірлік тартымдылығы мен аймақтың өркендеуіне қосар үлесі мен қоғамдағы әлеуметтік-экономикалық мәні қарастырылады.

Агротуризмді дамыту ауылдық жерлерде экономикалық тұрақтылықты қалыптастырып, ауылдық елді мекендердің табысын арттырып, ол елдегі ұлттық мұраны сақтап және экожүйенің тепе-теңдігін ұстап тұрудағы маңызды тетік болып табылады. Зерттеу барысында туристік индустриядағы агротуризмнің алар орны мен аймақтың потенциалын арттыруға қосар үлесі, оның қоғам мен экономикаға тиімді әсері жан-жақты қаралады. Мақалада агротуризмнің жағдайын саралап, сипаттауда оның дамуындағы мемлекеттік ынталандыру шаралары мен кәсіпкерлікті қолдау бағдарламалары да назарға алынды. Агротуризм саласын қалыптастырып, дамытудағы негізгі кедергілер мен факторлар анықталып, қарастырылды. Ауылдарда агротуризмді жасақтау арқылы ондағы еңбек нарығын жетілдіріп, ауыл шаруашылығы мен туризмнің интеграциясын қалыптастырып, ауылдардағы қаржы айналымының жүруін қамтамасыз етуге мол мүмкіндік болады.

Қазақстан Республикасында агротуризмді дамыту бойынша жүргізілген зерттеулер нәтижелері: ауыл шаруашылығы мен туристік сала қызметін агротуризм бағытында тиімді ұйымдастыру үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: агротуризм, ауыл шаруашылығы, туризм, аграрлық сектор, жергілікті өнім, ауыл шаруашылық субъектілері.

АГРОТУРИЗМ В КАЗАХСТАНЕ: РЕГИОНАЛЬНАЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

[1]Ж.К. Ержанова, [1]Е.С. Жангалиева, [1]А.Б. Габдилкаким, [2]А.Б. Егзалиева, [2]А.Е. Таласпаева
[1]Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, Казахстан,
[2]Западно-Казахстанский университет имени М.Утемисова, Уральск, Казахстан,
e-mail: yelnaz@mail.ru

Формирование и развитие сферы агротуризма для развития внутреннего туризма в Республике Казахстан позволит поддержать экономический рост сельских населенных пунктов, сохранить культурное наследие и сохранить экологическую обстановку в регионе в норме. В статье рассмотрены основные проблемы отрасли агротуризма в Республике Казахстан и пути ее решения. Также рассматривается значение сельскохозяйственного туризма в туристской сфере как стратегического направления экономики страны, его региональная привлекательность и вклад в процветание региона, социально-экономическое значение в обществе.

Развитие агротуризма создает экономическую стабильность в сельской местности, повышает доходы сельских населенных пунктов, что является важным рычагом в сохранении национального наследия и поддержании баланса экосистем в стране. В ходе исследования будут всесторонне

рассмотрены роль агротуризма в туристской индустрии и вклад в повышение потенциала региона, его эффективное влияние на общество и экономику. При дифференциации и описании состояния агротуризма в статье также были приняты во внимание меры государственного стимулирования и программы поддержки предпринимательства в его развитии. Определены и рассмотрены основные барьеры и факторы формирования и развития отрасли агротуризма. Создание агротуризма в селах позволит улучшить рынок труда, сформировать интеграцию сельского хозяйства и туризма, обеспечить ход финансового оборота в селах.

Результаты проведенных исследований по развитию агротуризма в Республике Казахстан могут быть использованы для эффективной организации деятельности сельского хозяйства и туристской отрасли в направлении агротуризма.

Ключевые слова: агротуризм, сельское хозяйство, туризм, аграрный сектор; местные продукты, субьекты селького хозяйства.

AGROTURISM IN KAZAKHSTAN: REGIONAL ATTRACTIVENESS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

[1]ZH.K. Yerzhanova, [1]Y.S. Zhangaliyeva✉, [1]A.B. Gabdilkakim, [2]A.B. Yegzalieva, [2]A.E. Talaspaeva

[1]West Kazakhstan Agrarian - Technical University named after Zhangir khan, Uralsk, Kazakhstan,
[2]West Kazakhstan University named after M.Utemisov, Uralsk, Kazakhstan,
e-mail: yelnaz@mail.ru

The formation and development of the field of agrotourism for the development of domestic tourism in the Republic of Kazakhstan will support the economic growth of rural settlements, preserve cultural heritage and preserve the ecological situation in the region in a normal way. The article discusses the main problems of the agrotourism industry in the Republic of Kazakhstan and ways to solve it. The article also examines the importance of agricultural tourism in the tourism sector as a strategic direction of the country' s economy, its regional attractiveness and contribution to the prosperity of the region, and its socio-economic importance in society.

The development of agrotourism creates economic stability in rural areas, increases the incomes of rural settlements, which is an important lever in preserving national heritage and maintaining the balance of ecosystems in the country. The study will comprehensively examine the role of agrotourism in the tourism industry and its contribution to increasing the region' s potential, its effective impact on society and the economy. When differentiating and describing the state of agrotourism, the article also took into account government incentive measures and programs to support entrepreneurship in its development. The main barriers and factors of the formation and development of the agrotourism industry are identified and considered. The creation of agrotourism in rural areas will improve the labor market, form the integration of agriculture and tourism, and ensure the course of financial turnover in rural areas.

The results of the conducted research on the development of agrotourism in the Republic of Kazakhstan can be used to effectively organize the activities of agriculture and the tourism industry in the direction of agrotourism.

Keywords: agritourism, agriculture, tourism, agricultural sector, local products, agricultural enterprises.

Кіріспе. Қазіргі уақытта отандық экономикада агротуризмді қалыптастырып, дамыту мәселесі жиі айтыла бастады. Ел Президенті 2025 жылғы халыққа жолдауында туризм саласындағы кадр тапшылығы мен бәсекеқабілеттіліктің төмендігін көрсетіп, саланы дамыту үшін кешенді және нақты шаралар қабылдау қажеттігін келтіре отырып, бұл бағыттың өзінің жеке бақылауында болатындығын айтты. Сондықтан да тақырып өзекті деп есептеледі.

Зерттеу жұмысының мақсаты Қазақстан жағдайында агротуризмді қалыптастырып, оны

қоғамда орнықтырудың мүмкіндіктерін саралап, негіздеу.

Зерттеу жұмысының ғылыми жаңалығы отандық және шет елдік дереккөздер арқылы теориялық негізделіп, статистикалық мәліметтерді талдау негізінде агротуризмді құрудың қазіргі жағдайы сараланып, экономикаға толықтай орнығу үшін авторлық тұжырымдама жасалды.

Зерттеу жұмысының нәтижелері бойынша Қазақстандық аймақтардың ерекшеліктері мен агротуризмді құру ықтималдықтары анықталып, Қазақстанда агротуризмді дамыту бойынша шаралар кешені жасалады.

«Агротуризм» түсінігін қарастырып, оның әлеуметтік-экономикалық маңызын түсінуде экономист ғалымдар оның бірнеше нұсқаларын ұсынады. Соның ішінде «ауыл шаруашылық туризмін» туристердің ауылшаруашылық қызметімен танысатын фермадағы демалыс деп білсе, «ауылдық туризм» термині жай ғана ауылдық жерлердегі демалысты білдіреді [1]. Ауылдық жерлерде агротуризмді қалыптастырудың әлеуметтік-экономикалық потенциалы жоғары, ол елдегі жұмыссыздықты азайтып, экологиялық тазалықты қалыптастырып, елді мекендегі жергілікті құндылықтарды қалыпты таза ұстап қауымға жариялауға мүмкіндік береді. Агротуризмді жүргізу тиімділігі жоғары сала болғанмен оның алдында тұрған өзіндік қиыншылығы да бар. Олар бастысы кадр жетіспеушілігі. Қазіргі уақытта адамдар ауылдық жерден гөрі қалада тұруды қалайды. Бұл ауылдық жердегі еңбек жағдайының қиындығымен, қалалықтардың олардың өмір сүру салтының жеңілдігі мен қызмет көрсету мүмкіндігінің молдығы және технологиялардың қолжетімділігімен түсіндіріледі. Осыған байланысты жыл сайын ауылдық елді мекендегі адамдар санының кемуі және ондағы тұратын адамдардың егде жастағы болуы байқалады. Осылайша ауылдық жердегі күрделі еңбек жағдайы мен иммиграциялық шектеулер агротуризм дамуындағы негізгі мәселелер. Сонымен қатар, маусымдық сипат пен мейманхана бизнесі, қоғамдық тамақтандыру және туризм саласындағы мамандарға сұраныстың болуы бұл мәселені шиеленістіреді [2]. Италиялық зерттеушілер ғылыми еңбектерінде туристік аймақтарда халық тығыздығының артуы мен көлік қозғалысының көбею салдарынан фермерлер мен табиғатқа жағымсыз әсер етуі мүмкін екендігі туралы айтылған [3]. Зерттеуші ғалымдар кей жағдайда агротуризмнің экологияға кері әсері болатынын да көрсетті. Олардың тұжырымы бойынша, туристік ағымның ұлғаюы жердің тапталып тозуына, кейбір жергілікті фаунаның ығыстырылуына және дәстүрлі аграрлық қызметтен алыстап әлсіреуіне алып келеді [4].

Ауыл шаруашылығы тәжірибесінің элементтерін қонақүй бизнесі қызметіне енгізу арқылы жаңа дамуға ие бола алады. Фермерлік шаруашылықтармен әрекеттесу қонақүйлерге экскурсиялар, ерекше гастрономиялық маршруттар және тақырыптық маусымдық фестивальдер мен мерекелерді ұсынуға мүмкіндік береді. Қонақүйлер, аграрлық кәсіпорындар және туристік бюролармен өзара әрекеттесуі қонақтар үшін кешенді және өте тартымды ұсыныстар жасай алады. Мұндай тәсіл туристерді айтарлықтай тартады, өңірлердің ілгерілеуіне ықпал етеді және бизнестің тұрақты дамуын қамтамасыз етеді. Нәтижесінде, қонақ үйлер елеулі бәсекелестік артықшылыққа ие болып, ауылдық аймақтар одан әрі өсу үшін жаңа көкжиектерін ашады [5]. Қонақжайлылық туризм саласы қызметкерлерінің дағдыларын жан-жақты меңгеруге жол ашады [6]. Коммуникация, командалық жұмыс, мәселелерді шешу және бейімделу қабілеті сияқты 90-ға жуық құзыреттілікті сала мамандары мен білікті ғалымдардың бірлесуімен жүргізілген кешенді көп сатылы әдістерін қолдану нәтижесінде айқындады. Сондықтан, күрделі сәтте тез шешім қабылдауға және өз-өзіне сенімділігін арттыруға ықпал ететін қызмет көрсету индустриясының шұғыл және өзгермелі ортасы мамандардың стратегиялық ойлау қабілетін қалыптастырады. Бұл тәжірибеден алынған біліктіліктер өзге де көптеген секторларда пайдалануға жарамды, себебі олар, менеджмент, маркетинг, сауда және клиенттермен қарым-қатынас бағыттарда өте қажет. Туризм мен қонақжайлылық индустриясы мамандарға тек мансаптық

мүмкіндер ұсынып қана қоймайды, сонымен қатар оларға өмірде қажетті, әмбебап дағдыларды дамытуға көмектесетін баға жетпес орта болып есептеледі [7].

Материалдар мен әдістер. Бұл ғылыми жұмыста еліміздегі агротуризмнің қазіргі даму жағдайы мен оның қоғамдық ахуалды жақсартудағы әсері қарастырылады. Ғылыми зерттеуді негіздеуде отандық қабылданған мемлекеттік бағдарламалар, статистикалық жинақтар көрсеткіштері, ғылыми жарияланымдар мен агротуризм саласындағы шет елдік тәжірибелер сарапталып тұжырымдалды. Агротурим бағытындағы жасалған отандық және шет елдік ғалымдардың ғылыми мақалалары мен еңбектері агротуризмнің экономикалық маңызын түсінуге, оның қажеттілігі мен шет елдердегі орнын нақтылауға және отандық жағдайда агротуризмді тиімді ұйымдастыру бағытын нақтылауға негіз болды.

Ақпараттарға экономикалық талдау жасауда Қазақстан Республикасының Ұлттық статистика бюросының, Туризм министрлігінің және басқа да ресми органдардың мәліметтері қаралып, тұжырымдалды. Зерттеу барысында агротуризмнің даму әлеуетін талдауда аналитикалық әдіс, Қазақстандағы агротуризмнің әлемдік тәжірибемен салыстыра отырып, динамикадағы өзгерісін салыстырмалы әдіс, инвестициялық ағымдар мен қаржылық тұрақтылық деңгейін анықтауда статистикалық талдау әдістері қолданылды. Ауыл халқы мен жергілікті қауымдастықтардың туризмге деген ықпалы мен көзқарастары сияқты әлеуметтік қырлары да назарға алынды.

Зерттеу нәтижелері Қазақстандағы аймақтар бойынша агротуризм сферасының даму мүмкіндіктерін белгілеп, оның жаппай өріс алуына кедергі келтіретін факторларды анықтап, жетілдіру бойынша тың ұсыныстар жасалды.

Нәтижелер мен талқылау. Қазақстан Республикасы Туризм министрлігі шаруа қожалықтарын жан-жақты қолдаудың бір альтернативті бағыты ретінде онда қосалқы шаруашылықтар түрінде агротуризмді дамытуды ұсынды. Бұл ұсыныс елдегі шығыс пен оңтүстік өлкелерінде 10 мыңнан астам тұрғыны бар ауылдық жерлердегі тұрғындарды жұмыспен қамтып, ауылдық жерлердің экономикалық өсуін қамтамасыз етуге тиіс болды. Осы бағыттағы кәсіпкерлікті дамыту үшін мемлекет ынталандыру шараларын жасақтап ұсынды, ол екі жылдық мерзімді қамтыды. Сонымен қатар саланың қарқынды дамуына арналған жаңа шаралар да жасақталып қабылданып, мемлекеттік мақұлданған өтініштер көлемі 2023 жылы 2022 жылмен салыстырғанда сегіз есе артып, 800 млн теңгеден асты.

Қазақстан Республикасында фермерлерге өз қожалықтар аумағында жер телімінің 10 % аспайтын жерде ғана қонақ үйлер мен глэмпингтер салуға рұқсат етілген еді.

Статистикалық ақпаратқа сүйенсек, Қазақстанда 219 мыңнан астам фермерлік және шаруа қожалығы бар. Егер де олардың тек 1%-ы ғана (шамамен 2,2 мың шаруашылық) қонақүй бизнесін бастап, туристерге қызмет көрсету үшін екі адамнан кем емес жұмысқа қабылдаса, жыл сайын ауылдық жерлерде 6,6 мыңға жуық адам тұрақты жұмысқа орналасады [8].

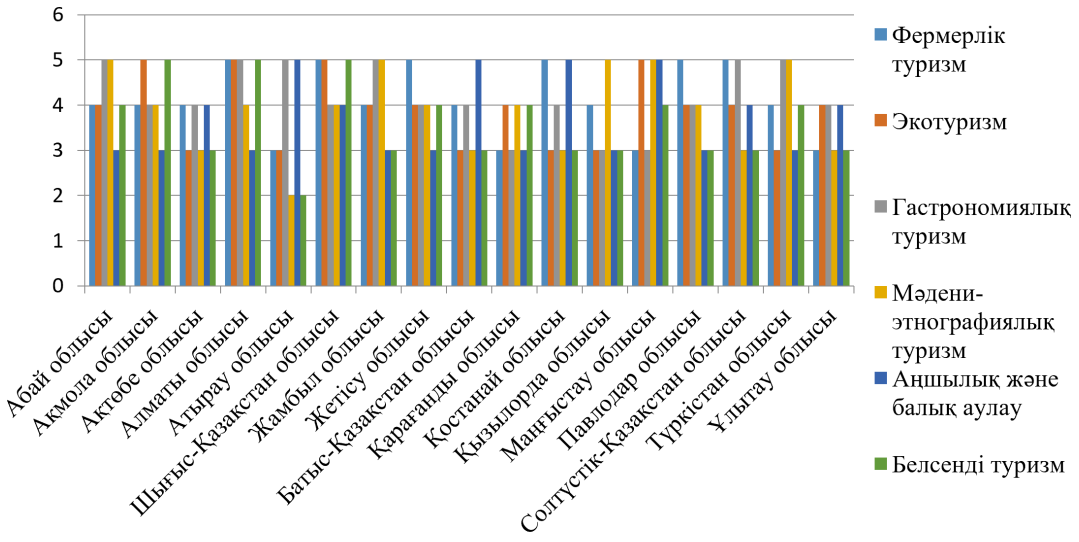
Қазіргі уақытта ауылдық жерлердегі фермерлер де интернет мүмкіндіктерін пайдалана отырып, отырып өз өнімдерін кең ауқымда жарнамалай алады.

4080 италиялық фермерлік шаруашылықты зерттеу көрсеткендей, қолдануға ыңғайлы әрі өзара әрекеттесу мүмкіндігі бар веб-порталдар жаңа клиенттерді тартуға көмектеседі. Желілік алаңдарды бағалау әдістемесі жетілдірілген сайттардың қызметтерді табысты насихаттай алатынын растады, ал алынған талдау деректері туристік ұсыныстарды әртараптандыру арқылы жергілікті өнімдерге деген сұраныс артатынын көрсетті. Локалды өнімдерді кең ауқымда сатуға ықпал ететін агротуризм қызметі аса маңызды механизмге айналуда [9].

Қазақстанда 2024 жыл туризм индустриясында елеулі жетістіктерге қол жеткізді [10]. Дүниежүзілік экономикалық форумы нәтижесінде ұсынылған Саяхат және туризмді дамыту индексінде еліміз 119 мемлекеттің ішінде 52-орынға көтеріліп, алдыңғы жылмен салыстырғанда 14

орынға орналасуы еліміздегі туристік әлеуеттің артып келе жатқандығын көрсетеді.2024 жылға көрсеткіштер бойынша Қазақстанға 15,3 млн астам шет ел азаматы келген, оның ішінде 10,4 млн адам халықаралық турист ретінде тіркелген. Шет елден келген туристердің елімізде болуының орташа ұзақтығы 4 күн. Бұлардың барлығы елімізге қосымша қаражат алып келді. Ұлттық банк мәліметтеріне елімізге келген әр турист сәйкес орташа есеппен 1500 АҚШ доллары шамасында қаражат жұмсаған. Жалпы шет елдік туристердің 2024 жылғы шығыны 1,2 трлн теңгеден де асып түсіп, ел экономикасына өзінің мол үлесін қосқан. Соңғы жылдары туризм саласына салынатын инвестиция клемі де артып келеді. Бұл өсімнің нәтижесі еліміздегі туристік қызметтердің деңгейін көтеруге бағытталған туристік инфрақұрылымдарды жетілдіруге бағытталып отыр.

Қазіргі таңда Қазақстан Республикасының туристік секторы ел экономикасының аса маңызды салаларының бірі ретінде бағаланып, туристік индустрияның ілгерілеуі макроэкономикалық ауқымда жоспарлы түрде қолға алынуда [11]. Орталық Азияның аграрлық секторында Қазақстан елеулі орын алады. Ауыл шаруашылығы өнімдерін өндірушілер мен озық технологияларды әзірлеуші ғалымдар, инвесторлар және өзге де бейінді мамандарды біріктіретін ауқымды іс-шараларын жыл сайын өткізіледі [12]. Агроөнеркәсіптік көрмелер - бұл тек тәжірибе алмасу алаңы ғана емес, сонымен қатар жаңа технологиялардың, ауыл шаруашылық тауарлары мен инновациялардың көрмесі ретінде қызмет істейтін орталықтар [12]. Өз кезегінде, инвесторлар аграрлық кәсіпорындар мен жобалардың инвестициялық тартымдылығын бағалауға, өзара тиімді байланыстар орнатуға және оңтайлы келісімшарттар жасасуға мүмкіндік алады [13].



1 - сурет. Аймақтар бойынша агротуризм сферасының даму мүмкіндіктері

Ескерту: авторлар (Қазақстан Республикасы Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігі Ұлттық статистика бюросының мәліметтері) дереккөз негізінде құрастырған

Диаграма мәліметтері бойынша 5 баллдық жүйемен бағалау арқылы Қазақстан аумақтарындағы агротуризм сферасының даму мүмкіндіктері қарастырылады. Саланың сарапшылары мен даму көрсеткіштері негізінде агротуризм сферасының түрлерін қалыптастыру жағдайлары анықталды. Бүгінгі күні агротуризмді қалыптастырып, дамытуға ең қолайлы аймақтар ретінде Алматы, Шығыс Қазақстан мен Ақмола облыстары анықталды. Себебі бұл облыстардағы бай табиғат пен жоғары құрылымдағы инфрақұрылым туристердің қызығушылы-

ғын туғызуда [14].

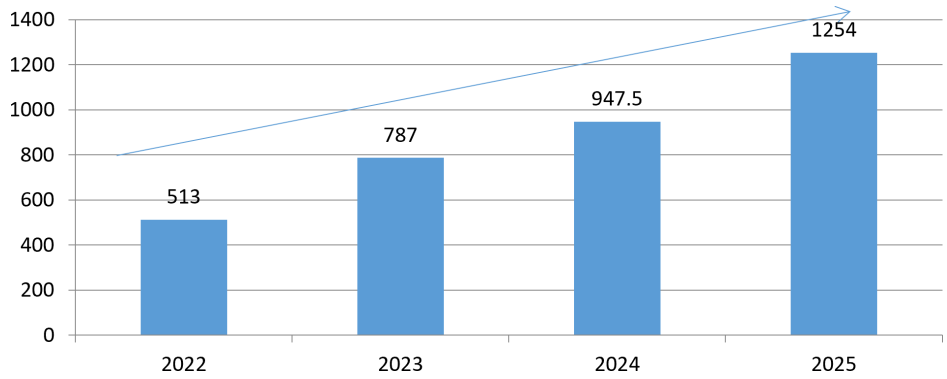
Батыс Қазақстан мен Атырау облыстарында балық аулау мен аңшылықты тамашалауға зор мүмкіндік болса, Түркістан мен Маңғыстау этномәдени тұрғыда насихаттауға таптырмас мүмкіндік. Қазақстанның қай өңірі де өзінің тарихи естеліктерімен туристерге үлкен әсер қалдыра алады.Туризм саласы Орталық және Солтүстік аймақтарда енді қалыптасып келеді. Осыған байланысты бұл жерлерде агротуризмді жақсартуға арналған шаралады тағы бір жүйелеп, тиімді инфрақұрылымды қолға алу шараларын жасақтау қажет. Бұл бағыттың нәтижелі болуына мемлекеттік қолдау мен ынталадыру шаралары тиімді әсер етеді.

2025 жылдың қорытындысы бойынша туризм саласындағы негізгі капиталға салынған инвестиция көлемі 1,25 трлн теңгеге жетіп, алдыңғы жылмен салыстырғанда 33%-ға артты. Өңірлер арасында туризм саласындағы негізгі капиталға салынған инвестицияның ең жоғары өсімі Ақтөбе облысында тіркелді. Бұл өңірде көрсеткіш 526%-ға ұлғайып, 60,8 млрд теңгеден асты. Сонымен қатар Абай, Атырау және Ұлытау облыстарында да айтарлықтай оң серпін байқалды.

Республикалық маңызы бар қалалар арасында инвестиция өсімінің жоғары көрсеткіші Алматы (79%) және Астана (61%) қалаларына тиесілі.

Жалпы алғанда, бұл деректер бизнестің туризм инфрақұрылымын дамытуға деген қызығушылығының сақталып отырғанын және саланың әлеуеті нығайып келе жатқанын көрсетеді. Негізгі бағыттар бойынша инвестиция көлемінің артуы Қазақстанда туризмді одан әрі тұрақты дамытуға берік негіз қалайды [15].

Қазақстан Республикасындағы туризм бағытындағы негізгі капиталға салынған инвестиция көлемін 2 суреттен көреміз.



2 - сурет. Туризм бағытындағы негізгі капиталға салынған инвестиция, млрд теңге

2 сурет бойынша туризм саласындағы негізгі капиталға салынған инвестиция көлемінің есепті 2025 жылы базисті жылға қарағанда 2,4 есе өскендігін көреміз. Инвестиция тарту бойынша алғашқы лекте Алматыға 82,4 млрд теңге, 20,8 % немесе 55 млрд теңге Астанаға және Щучинск-Бурабай курорттық аймағы орналасқан Ақмола облысына 26,3 млрд теңге бөлінген.

Мемлекеттік деңгейде туристік саланы дамыту қажеттілігі айтылғанмен бұл саладағы кадр мәселесі тапшылығы мен туристік инфрақұрылымның әлсіздігі, осы саладағы инвестициялық жобалар туралы ашық дереккөздер шектеулілігі салаға толық талдау жасауда қиындықтар келтіреді [16].

Мемлекет басшысы «Қазақстан Республикасының кейбір заңнамалық актілеріне туристік саланы және балалар спортын қолдау мәселелері бойынша өзгерістер мен толықтырулар енгізу туралы» Қазақстан Республикасының Заңына қол қойды. Құжат туристік саланы дамытуға қолайлы жағдай жасауға және мемлекеттік қолдау шараларының тиімділігін арттыруға бағытталған. Жаңа заң аясында туризм заңнамасындағы негізгі ұғымдар нақтыланды. Заңда визит-орталықтардың қызметі алғаш рет

құқықтық тұрғыдан реттелді. Құжатта туристік инфрақұрылымды мемлекеттік қолдау шаралары да нақтыланды. Атап айтқанда, кәсіпкерлердің визит-орталықтар, жол бойындағы сервис нысандары, орналастыру орындарын салу және қайта жаңғыртуға жұмсаған шығындарының бір бөлігі өтеледі. Туроператорларды қолдаудың қосымша тетіктері де енгізілді. Олардың шығындарын субсидиялау қарастырылып, туристік автобустардың мемлекеттік шекарадағы өткізу пункттерінен өту рәсімін жеделдету көзделген. Сондай-ақ балалар үшін ұлттық парктерге кіру тегін болады.

Заңда мемлекеттік қолдау алған туризм нысандарының қаражатын мақсатты пайдалануын бес жыл бойы мониторингтеу нормасы енгізілді. Бұдан бөлек, туристік ресурстар аумағындағы санитарлық-гигиеналық тораптардың жағдайына бақылау күшейтіледі [17].

Стратегиялық бағдарлама негізінде агротуризмді тұрақтандырудың мүмкіндіктері 2 суретте келтірілген. Бұл бағдарламаның мақсаты ауыл шаруашылығы жерлерін тиімді қолдану. Мұнда ауылдық жердегі тұрғындарды жұмыспен қамтып, жаңа жұмыс орындарын құру мүмкіндігі қарастырылған. Бұл болжам бойынша жылына 2,2 мыңға жуық қосымша жұмыс орны ашылады деп күтілуде, мұның өзі шаруа қожалықтарының тек 1 % құрайды.



3 - сурет. Қазақстанда агротуризмді дамыту бойынша шаралар кешені

Ескертпе: Қазақстан Республикасының туризм индустриясын дамытудың 2023-2029 жылдарға арналған тұжырымдамасы дереккөз негізінде құрастырылған

2023-2027 жылдар аралығына арналған Қазақстанның ауылдық өңірлеріне тың серпін беру және ондағы тұрғындардың өмір сапасын арттыру үшін үкімет стратегиялық жоспарды бекітті. «Ауылдық аумақтарды дамыту тұжырымдамасы» жобасы агротуризмді, этно-мәдени туризмді және экологиялық туризмді дамытуға баса назар аударады [18].2027 жылға қарай Қазақстанда 5,9 мың ауылдық елді мекендерде ауыл халқы 7,7 млн адамға жетеді деп күтілуде [19].

Елімізде шет елдік туристермен қатар өз халқымыздың да туризмге деген сұранысы күннен күнге артып келеді. Қазіргі уақытта Қазақстандықтар шет елден гөрі отандық туристік базаларға назар аударуда. Бұл елдегі туристік жаңа маршруттар ашып, экологиялық мәселелерді шешуді қажет етеді. Осы тұрғыда табиғи көрікті жерлерде орналасқан ауылдық жерлерге олардың тарихи, мәдени құндылықтарын нақтылап, болашақта туристік орталық жасау мүмкіндіктерін қарастру қажет. Олардың географиялық орналасуы мен табиғи ландшафты туристерді тартудың басты шарты. Сондықтан туристерге тартымды болу үшін толыққанды қызмет көрсету, соның ішінде қонақтарды қабылдау мен орналастыру, дұрыс тамақтандыру және

демалысын тиімді ұйымдастру үшін жергілікті халықтың әлеуетін сауатты ұйымдастыру керек. Ауылдық аймақтардың әлеуетін тиімді пайдалану нәтижесінде елдегі туристік қызметті тиімді жолға қою мүмкіндіктері жоғары.

Қарастырылып отырған мәселелер бүгінгі күні агротуризмді қалыптастыру жалпы ауылдық жерлердің де, шаруа қожалықтардың дамуына тың серпін беретін мүмкіндік екенін көрсетті. Ол елді мекендерде жаңа жұмыс орындарын ашуға мүмкіндік жасай отырып, жаңа инфрақұрылымды қалыптастыру арқылы әлеуметтік дамуға, қаржылай қолдау алуға жол ашатын жаңа мүмкіндіктер. Отандық әр аймақ пен шет елден келген туристер арқылы байланысты қалыптастырып, ақпарат алмасу арқылы елдің де әлеуметтік, мәдени өсуін қалыптастырады.

Агротуризм отандық экономикада жаңадан қалыптасып келе жатқан сала болуына байланысты осы саладағы мемлекеттік қолдаулар: туроператорлар шығындары мен балалар авиабилеттерінің құнын субсидиялау, санитарлық-гигиеналық орындарға субсидия, автотранспорт құралдарының құнының, инфрақұрылым құнының белгілі бір бөлігін субсидиялау туристердің санының артуына, туристік өнімдер ассортиментін арттыруға, көрсетілетін қызметтердің сапасын жақсартуға мүмкіндік береді.

Қорытынды. Бұл ғылыми зерттеу жұмысында Қазақстанда агротуризмді қалыптастырып, жандандырудың мүмкіндіктері қарастырылып, талданды. Ауылдық аймақтарды дамытудағы бүгінгі күні ұсынылып отырған жаңа жол ретінде шаруа қожалықтары жанынан қосалқы шаруашылық ретінде агротуризмді жүргізу ұсынылуда. Бұл агротуризм, экотуризм, этнотуризм бағыттары елдегі жергілікті халықтың әлеуетін іске асыруға, экономикалық белсенділікті көтеріп, жаңа жұмыс орындарын жасақтауға негіз болады.

Агротуризм болашағы зор сала ретінде еліміздің, соның ішінде ауылдық аймақтар дамуына көп үлес қосары сөзсіз. Ол жылдар бойы қалыптасқан ұлттық мұраны сақтап,туристердің ауыл тұрғындарының тыныс-тіршілігімен танысуына жағдай жасау арқылы ауылдық тұрғындардың да өзінің өмір сүру деңгейін арттыруға қолдау жасайды.

Қазақстанда экономиалық тұрақтылықты қалыптастырудың альтеринативті жолдарының бірі ретінде жалпы туризмді қалыптастырудың стратегиялық құжат қабылданды. Қазіргі уақытта туризмнің бір саласы ретінде агротуризмді жүргізу арқылы жылына 2,2 мың жаңа жұмыс орны ашылуының өзі сапалық көрсеткіш болып саналады. Осы бағытта туризмді насихаттауда «Kazakh Tourizm» ұлттық компаниясы мен Қазақстанның агро және ауыл туризмі қауымдастығы зерттеулер жүргізіп, негізгі жұмыстарды ұйымдастыру бойынша әдістемелік материалдар дайындап жариялауда. Сонымен қатар мемлекет деңгейінде осы салаға тұрғындардың қатысуын ынталандыру мақсатында субсидиялар мен оқыту бағдарламалары және жеңілдетілген шарттармен инфрақұрылымға инвестициялар ұсынылуда.

Жалпы туризм саласында ұлттық парктер аумағында жоспарланған арнайы тұрақтар мен ақпараттық орталықтар мен бақылау алаңдары салынып, арнайы туристік маршруттар жасалуда. Әр аймақтарда өзінің ерекшеліктері мен өндірістік бағытына сай агротуризмді нсихаттауда түрлі көрмелер мен фестивальдер өткізілуде. Бұл шаралар агробизнес пен туризм арасындағы байланысты нығайтып, туристік сектордың жанжақтылығын қамтамасыз етеді.

Қазақстандағы стратегиялық туризмді дамытудың 2023-2029 жылдарға арналған тұжырымдамасында агротуризм басым бағыттардың бірі ретінде белгіленген. Агротуризмнің бұл ауылдық елді мекендердің экономикалық өсімін қалыптастырушы құрал ретінде қарастырылуы себепті мемлекеттік қолдау мен инвестиция тарту аса маңызды. Жергілікті халықтың қатысу белсенділігін арттыру, мемлекеттік қолдау көрсету мен туристік өнімдерді тиімді жоспарлау нәтижесінде бұл салда жоғары нәтижелерге қол жеткізуге болады. Бұл шаралар Қазақстанның туризм саласын жаңа деңгейге көтеріп, елдің әлемдік туристік нарықтағы ықпалын арттыруға негіз болады.

Әдебиеттер

1. Сарафанова А.Г., Шабалина Н.В., Сарафанов А.А.Сельский и агротуризм: подходы к определению.//CYBERLENINKA.-2020.-Т.14.-№1.-С.100-108. DOI 10.24411/1995-0411- 2020-10110.

2.Salzwedel M. Labor Shortage Poses Safety Challenges for Growing Agritourism Industry//Journal of Agromedicine.- 2023. -Vol.28(1):53-56. DOI 10.1080/1059924X.2022.2148035.

3. Paniccia P., Baiocco S. Interpreting sustainable agritourism through co-evolution of social organizations. // Sustainable Tourism. -2020.-Vol.29(1). -PP.81-105. DOI 10.1080/09669582.2020.1817046.

4. Ndhlovu E., Dube K. Agritourism and sustainability: A global bibliometric analysis of the state research and dominant issues. //of Outdoor Recreation and Tourism.-2024.-Vol.46:100746. DOI 10.1016/j.jort.2024.100746.

5. Mai-Rong Wang, Chun-Liang Chen. Value co-creation of hotel business from the perspective of service ecosystem: connecting the services and experiences of agriculture//International Journal of Agriculture Innovation, Technology and Globalisation.-2024.-Vol.3(4). -P.332-353. DOI 10.1504/IJAITG.2023.138108.

6. Md Azmain Muhtasim Mir, Becky Shelley, Can-Seng Ooi Uses of tourism resources for educational and community development: A systematic literature review and lessons//Tourism Management Perspectives.-2024.-Vol.53:101278. DOI 10.1016/j.tmp.2024.101278.

7. Stangl B., Li.Y.(Kevin), Ma E., Xu S. (Tracy), Alsaied M.. Transferable skills in tourism and hospitality//Annals of Tourism Research.-2024.-Vol.109:103854. DOI 10.1016/j.annals.2024.103854.

8. Аграрный туризм намерены развивать в Казахстане. -2024. - URL: https://eldala.kz/novosti/kazahstan/18517-agrarnyy-turizm-namereny-razvivat-v-kazahstane. - Қаралған күні: 12.12.2025.

9. Fanelli R.M. Agritourism Farms: A Great Way to Promote Local Products//Tourism Analysis. -2022.-Vol.27(3). DOI 10.3727/108354222X16449628077748.

10. Қазақстандағы туризм саласы:динамика, инвестиция және Neo Nomad Visa//сайт МТи-СРК.URL:https://www.gov.kz/memleket/entities/tsm/press/news/details/949124?lang=kk&ysclid=m7w1kjsso8707775885.- Қаралған күні: 05.12.2025.

11. Tlesova A., Primbetova S., Sultanova M., Yessengalieva S., Yerzhanova Zh. Innovative Activities in the Field of Hotel Business and Tourism//Journal of Enviromental Management and Tourizm. -2020.-Vol.11(8). -P.1973-1987.DOI10.14505/jemt. v11.8(48).10.

12. Международная выставка охоты, рыбалки и активного отдыха и спорта KIOF (KazakhstanInternational Outdoor Fair)**.**-URL:https://exposale.net/ru/exhibition/kiof.- Қаралған күн: 10.04.2026.

13. GrowExpoAstana 2025 Международная выставка оборудования и технологий для выращивания растений.-URL:https://exposale.net/ru/exhibition/grow-expo-astana.-Қаралған күні: 09.04.2026.

14. Қазақстан Республикасы Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігі Ұлттық статистика бюросының мәліметтері.-URL:https://cabinet.stat.gov.kz/kk.- Қаралған күні: 26.04.2026.

15. Қазақстан Республикасы Туризм және спорт министрлігі Туризм индустриясы комитеті Туризм инвестиция өсімін күшейтуде: 2025 жылғы қаражат көлемі 1,25 трлн теңгеден асты 13 ақпан 2026 жыл . -URL: https://www.gov.kz .- Қаралған күні: 19.03.2026.

16. Триллион на гостеприимство: объём инвестиций в туризм вырос на треть.-URL: https://dknews.kz/ru/ekonomika/383586-trillion-na-gostepriimstvo-obem-investiciy-v-turizm. - Қаралған күні:19.03.2026.

17. Қазақстан туризмді қолдауды күшейтеді: жаңа заң сала мен туристер үшін нені өзгертеді // Ақмола облысының туризм басқармасы саиты. -URL: https://www.gov .- Қаралған күні: 20.03.2026.

18. Қазақстан Республикасының туристік саласын дамытудың 2023 – 2029 жылдарға арналған тұжырымдамасын бекіту туралы Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2023 жылғы 28 наурыздағы № 262 қаулысы.-URL:https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2300000262.-Қаралған күні:15.03.2025.

19. Қазақстан Республикасының ауылдық аумақтарын дамытудың 2023 – 2027 жылдарға арналған тұжырымдамасын бекіту туралыҚазақстан Республикасы Үкіметінің 2023 жылғы 28 наурыздағы № 270 қаулысы.- URL:https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2300000270.-Қаралған күні: 16.03.2025.

References

1. Sarafanova A.G., Shabalina N.V., Sarafanov A.A. Sel’ skij i agroturizm: podhody k opredeleniju.//CYBERLENINKA.-2020.-T.14.-№1.-S.100-108. DOI 10.24411/1995-0411- 2020-10110. [In Russian].

2. Salzwedel M. Labor Shortage Poses Safety Challenges for Growing Agritourism Industry//Journal of Agromedicine.-2023.-Vol.28(1):53-56.DOI 10.1080/1059924X.2022.2148035.

3. Paniccia P., Baiocco S. Interpreting sustainable agritourism through co-evolution of social organizations. // Sustainable Tourism. -2020.-Vol.29(1). -PP.81-105. DOI 10.1080/09669582.2020.1817046.

4. Ndhlovu E., Dube K. Agritourism and sustainability: A global bibliometric analysis of the state research and dominant issues. //of Outdoor Recreation and Tourism.-2024.-Vol.46:100746. DOI 10.1016/j.jort.2024.100746.

5. Mai-Rong Wang, Chun-Liang Chen. Value co-creation of hotel business from the perspective of service ecosystem: connecting the services and experiences of agriculture//International Journal of Agriculture Innovation, Technology and Globalisation.-2024.-Vol.3(4). -P.332-353. DOI 10.1504/IJAITG.2023.138108.

6. Md Azmain Muhtasim Mir, Becky Shelley, Can-Seng Ooi Uses of tourism resources for educational and community development: A systematic literature review and lessons//Tourism Management Perspectives.-2024.-Vol.53:101278. DOI 10.1016/j.tmp.2024.101278.

7. Stangl B., Li.Y.(Kevin), Ma E., Xu S. (Tracy), Alsaied M.. Transferable skills in tourism and hospitality//Annals of Tourism Research.-2024.-Vol.109:103854. DOI 10.1016/j.annals.2024.103854.

8. Agrarnyj turizm namereny razvivat’ v Kazahstane. -2024. - URL: https://eldala.kz/novosti/kazahstan/18517-agrarnyy-turizm-namereny-razvivat-v-kazahstane. - Қаралған күні: 12.12.2025. [in Russian]

9. Fanelli R.M. Agritourism Farms: A Great Way to Promote Local Products//Tourism Analysis. -2022.-Vol.27(3). DOI 10.3727/108354222X16449628077748.

10. Қазақстандағу turizm salasy: dinamika, investicija zhəne Neo Nomad Visa//sajt MTiSRK.URL:https://www.gov.kz/memleket/entities/tsm/press/news/details/949124?lang=kk&ysclid=m7w1kjsso8707775885.- Қаралған күні: 05.12.2025. [in Kazakh]

11. Tlesova A., Primbetova S., Sultanova M., Yessengalieva S., Yerzhanova Zh. Innovative Activities

in the Field of Hotel Business and Tourism//Journal of Enviromental Management and Tourizm. -2020.-Vol.11(8). -P.1973-1987.DOI 10.14505/jemt. v11.8(48).10.

12. Mezhdunarodnaja vystavka ohoty, rybalki i aktivnogo otdyha i sporta KIOF (KazakhstanInternational Outdoor Fair).-URL:https://exposale.net/ru/exhibition/kiof.- Қаралған күні: 10.04.2026. [in Russian]

14. Қазақстан Respublikasy Strategijalyқ zhosparlau zhәne reformalar agenttigi Ұlttyқ statistika bjurosynyң mәlimetteri.-URL:https://cabinet.stat.gov.kz/kk.- Қаралған күн: 26.04.2026. [in Kazakh].

15. Қазақстан Respublikasy Turizm zhәne sport ministrligi Turizm industrijasy komiteti Turizm investicija өsimin kүshejtude: 2025 zhylғy қarazhat kөlemi 1,25 trln teңgeden asty 13 aқpan 2026 zhyl. -URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/tourism/press/news/details/1161208? lang=ru.- Қаралған күні: 19.03.2026. [in Russian]

16. Trillion na gostepriimstvo: ob#jom investicij v turizm vyros na tret'.-URL: https://dknews.kz/ru/ekonomika/383586-trillion-na-gostepriimstvo-obem-investiciy-v-turizm. - Қаралған күні:19.03.2026.19.03.2026. [in Russian]

17. Қазақстан turizmdi қoldaudy kүshejtedi: zhaңa zaң sala men turister үshin neni өzgertedi // Aқmola oblysynyң turizm basқarmasy saity. -URL: https://www.gov. https://www.gov.

kz/memleket/entities/aqmola-tourism/press/news/details/1183182? lang=kk - Қаралған күні: 20.03.2026. [in Kazakh]

18. Қазақстан Respublikasynyң turistik salasyn damytudyң 2023 – 2029 zhyldarға arnalған tұzhyrymdamasyn bekitu turaly Қазақстан Respublikasy Ykimetinің 2023 zhylғy 28 nauryzdaғy № 262 қaulysy.-URL:https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2300000262.-Қаралған күні:15.03.2025. [in Kazakh]

19. Қазақстан Respublikasynyң auyldyқ aumaқtaryn damytudyң 2023 – 2027 zhyldarға arnalған tұzhyrymdamasyn bekitu turalyҚазақстан Respublikasy Ykimetinің 2023 zhylғy 28 nauryzdaғy № 270 қaulysy.- URL:https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2300000270.-Қаралған күні: 16.03.2025. [in Kazakh]

Авторлар туралы мәлімет

Ержанова Ж.К. - экономика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан, e-mail: erzhanova.zh@wkau.kz;

Жангалиева Е.С.- экономикалық ғылымдар магистрі, аға оқытушы, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті,Орал, Қазақстан, e-mail: yelnaz@mail.ru;

Ғабділкәкім Ә. Б. - ізденуші, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан, e-mail: gabdilkakima@gmail.com;

Егзалиева АБ.- экономикалық ғылымдар магистрі, аға оқытушы, М. Өтемісұлы атындағы Батыс Қазақстан университеті, Орал, Қазақстан, e-mail: . egzalieva24@mail.ru;

Таласпаева А.Е.- экономикалық ғылымдар магистрі, аға оқытушы, М. Өтемісұлы атындағы Батыс Қазақстан университеті, Орал, Қазақстан, e-mail: talaspaevaa1981@gmail.com.

Information about the authors

Yerzhanova Zh.- Candidate of Economic Sciences, associate professor, Zhangir khan West Kazakhstan Agrarian - Technical University, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: erzhanova.zh@wkau.kz;

Zhangaliyeva Ye.- Master of Economic Sciences, Senior Lecturer, Zhangir khan West Kazakhstan Agrarian - Technical University, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: yelnaz@mail.ru;

Gabdilkakim A.- applicant, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: gabdilkakima@gmail.com;

Yegzalieva A.B.- Master of Economic Sciences, Senior Lecturer, M.Utemisov West Kazakhstan University, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: egzalieva24@mail.ru$

Talaspaeva A.E.- Master of Economic Sciences, Senior Lecturer, M.Utemisov West Kazakhstan University, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: talaspaevaa1981@gmail.com.

ҒТАМР 06.61.53 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1406**

МОНОҚАЛАЛАРДЫҢ ИНФРАҚҰРЫЛЫМДЫҚ ДАМУЫНА ТАБИҒИ АПАТТАРДЫҢ ӘСЕРІ (ҚҰЛСАРЫ ҚАЛАСЫ МЫСАЛЫНДА)

[1]Ұ.Б. Жиенбаев, [2]М. Дулат, [3]Л.Т. Байтуова, [4]З.К. Смагулова

[1]Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан,
[2]Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[3]С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан,
[4]Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан

Корреспондент-автор: uzhiyenbayev@zhubanov.edu.kz

Бұл мақалада климаттың өзгеруінің және табиғи апаттардың жиілігінің артуының Қазақстан Республикасындағы моноқалалардағы инфрақұрылымның дамуы мен тұрақтылығына әсері қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі экономикасы бір кәсіпорынға тәуелді және қаржылық және институционалдық ресурстардың шектеулілігімен сипатталатын моноқалалардың жоғары осалдығына байланысты. Мақалада Қазақстанға тән негізгі климаттық тәуекелдер, соның ішінде орташа жылдық температураның жоғарылауы, құрғақшылық, су тасқыны және экстремалды ауа райы оқиғалары, сондай-ақ олардың инженерлік, көлік және тұрғын үй-коммуналдық инфрақұрылымға әсері талданады.

Зерттеу әдістемесі ретінде *PSR (Pressure–State–Response)* моделі қолданылды, ол табиғи апаттардың инфрақұрылымға әсерін кешенді бағалауға мүмкіндік береді. Аталған модель шеңберінде климаттық және табиғи факторлар сыртқы қысым ретінде қарастырылып (Pressure), олардың әсерінен инфрақұрылымның ағымдағы жағдайы (State) бағаланады, ал мемлекеттік және жергілікті деңгейде қабылданатын шаралар басқарушылық жауап (Response) ретінде талданады.

Атырау облысындағы Құлсары моноқаласының мысалын қолдана отырып, табиғи апаттардың салдарын талдауға ерекше назар аударылады, онда ірі көлемді су тасқыны тұрғын үйлердің қирауына, коммуналдық желілердің тозығы жеткен жағдайына және қалалық инфрақұрылымды шұғыл қайта құру қажеттілігіне әкелді. Климаттық қауіптер моноқалалардағы бар әлеуметтік-экономикалық мәселелерді, соның ішінде инфрақұрылымның тозуын, инвестициялық тартымдылықтың төмендеуін және әлеуметтік шиеленістің артуын ушықтыратыны көрсетілген.

Мақалада сондай-ақ моноқалалардың инфрақұрылымын климаттың өзгеруіне бейімдеуге бағытталған мемлекеттік қолдау шаралары мен тәсілдері, мысалы, коммуналдық желілерді жаңғырту, тұрақты құрылыс шешімдерін енгізу және аймақтық жоспарлауға климаттық факторларды енгізу қарастырылады. Онда ұзақ мерзімді климаттық тәуекелдерді ескере отырып, моноқала инфрақұрылымын дамытуға кешенді және жүйелі тәсіл қажет деген қорытынды жасалады.

Түйін сөздер: климаттың өзгеруі, табиғи апаттар, моноқала, қалалық инфрақұрылым, климаттық тәуекелдер, тұрақты даму.

ВЛИЯНИЕ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ НА РАЗВИТИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ МОНОГОРОДОВ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА КУЛЬСАРЫ)

[1]У.Б. Жиенбаев, [2]М. Дулат, [3]Л.Т. Байтуова, [4]З.К. Смагулова

[1]Актюбинский региональный университет им. К.Жубанова, Актобе, Казахстан,
[2]Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
[3]Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, Астана, Казахстан,
[4]Международный университет Астана, Астана, Казахстан,
e-mail: uzhiyenbayev@zhubanov.edu.kz

В данной статье рассматривается влияние изменения климата и увеличения частоты стихийных бедствий на развитие и стабильность инфраструктуры в моногородах Республики Казахстан.

Актуальность исследования обусловлена высокой уязвимостью моногородов, экономика которых зависит от одного предприятия и характеризуется ограниченными финансовыми и институциональными ресурсами. В статье анализируются основные климатические риски, характерные для Казахстана, включая повышение среднегодовых температур, засухи, наводнения и экстремальные погодные явления, а также их влияние на инженерную, транспортную и жилищно-коммунальную инфраструктуру.

В качестве методологической основы исследования использована модель *PSR (Pressure–State–Response)*, позволяющая комплексно оценить влияние природных катастроф на инфраструктуру. В рамках данной модели климатические и природные факторы рассматриваются как внешнее давление (Pressure), под воздействием которого оценивается текущее состояние инфраструктуры (State), тогда как меры, принимаемые на государственном и местном уровнях, анализируются как управленческий ответ (Response).

Особое внимание уделяется анализу последствий стихийных бедствий на примере моногорода Кульсары в Атырауской области, где масштабное наводнение привело к разрушению жилых зданий, ветхому состоянию коммунальных сетей и необходимости срочной реконструкции городской инфраструктуры. Показано, что климатические опасности усугубляют существующие социально-экономические проблемы в моногородах, включая деградацию инфраструктуры, снижение инвестиционной привлекательности и усиление социальной напряженности.

В статье также рассматриваются меры государственной поддержки и подходы, направленные на адаптацию инфраструктуры моногородов к изменению климата, например, модернизация коммунальных сетей, внедрение устойчивых строительных решений и учет климатических факторов в региональном планировании. В заключение делается вывод о необходимости комплексного и системного подхода к развитию инфраструктуры моногородов с учетом долгосрочных климатических рисков.

Ключевые слова: изменение климата, стихийные бедствия, моногород, городская инфраструктура, климатические риски, устойчивое развитие.

THE IMPACT OF NATURAL DISASTERS ON THE DEVELOPMENT OF THE INFRASTRUCTURE OF SINGLE-INDUSTRY TOWNS (USING THE EXAMPLE OF THE CITY OF KULSARY)

[1]U.B. Zhienbaev, [2]M. Dulat, [3]L.T. Baituova, [2]Z.K. Smagulova

[1]K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan,
[2]K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
[3]S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan,
[4]Astana International University, Astana, Kazakhstan,
e-mail: uzhiyenbayev@zhubanov.edu.kz

This article examines the impact of climate change and an increase in the frequency of natural disasters on the development and stability of infrastructure in single-industry towns of the Republic of Kazakhstan. The relevance of the study is due to the high vulnerability of single-industry towns, whose economy depends on a single enterprise and is characterized by limited financial and institutional resources. The article analyzes the main climate risks characteristic of Kazakhstan, including an increase in average annual temperatures, droughts, floods and extreme weather events, as well as their impact on engineering, transport and housing and communal infrastructure.

The *PSR (Pressure–State–Response)* framework was applied as the methodological basis of this study, enabling a comprehensive assessment of the impacts of natural disasters on infrastructure systems. Within this framework, climatic and natural factors are considered as external pressures (Pressure), which influence the current condition of infrastructure (State), while the measures implemented at both national and local levels are analyzed as response actions (Response).

Special attention is paid to the analysis of the consequences of natural disasters using the example of the single-industry town of Kulsary in Atyrau region, where large-scale flooding led to the destruction of residential buildings, dilapidated public utilities and the need for urgent reconstruction of urban infrastructure. It is shown that climate hazards exacerbate existing socio-economic problems in single-industry towns, including infrastructure degradation, reduced investment attractiveness and increased social tension.

The article also discusses government support measures and approaches aimed at adapting the infrastructure of single-industry towns to climate change, for example, the modernization of utility networks, the introduction of sustainable construction solutions and consideration of climatic factors in regional planning. In conclusion, it is concluded that there is a need for an integrated and systematic approach to the development of the infrastructure of single-industry towns, taking into account long-term climate risks.

Keywords: climate change, natural disasters, single-industry town, urban infrastructure, climate risks, sustainable development.

Кіріспе. Жалпы елімізде моноқалалар мемлекеттің әлеуметтік-экономикалық дамуында аса зор рөл атқаратыны белгілі. Себебі олар көбінесе тау-кен, металлургия және энергетика салаларымен айналысатын кәсіпорынның айналасында даму алды. Дегенмен, қазіргі таңда жаһандық климаттың өзгеруі және табиғи апаттардың жиілігінің артуы жағдайында осындай қалалардың төзімділігі тәуекелдерге ұшырайды. Қазіргі таңда климаттың өзгеруі қолданыстағы инфрақұрылымға түсетін жүктемені арттырды. Ол өз кезегінде монокалалардағы коммуналдық желілердің тозуына, инвестициялардың шектеулігіне және бір салаға тәуелділік сияқты құрылымдық мәселелерге алып келді. Сондықтан да, климаттың өзгеруі мен табиғи апаттардың Қазақстандағы моноқалалардың инфрақұрылымдық дамуына әсерін талдау өзекті болып табылады.

Бұл тақырыптың өзектілігі негізінен теориялық және практикалық маңыздылығымен анықталады. Теориялық тұрғыда бұл жұмыс климаттық тәуекелдер мен моноқалалардың инфрақұрылымдық тұрақтылығы арасындағы байланысты ғылыми тұрғыдан түсінуді және талдауды кеңейтуге әсер етеді. Ал оның практикалық маңыздылығын зерттеу нәтижелерін аймақтық даму бағдарламаларын әзірлеуде, инженерлік және тұрғын-үй коммуналдық инфрақұрылымды жоспарлауда, сонымен қатар төтенше жағдайлардағы тәуекелдерді басқару жүйелерінде пайдалану мүмкіндігінен туындайды [1]. Құлсары моноқаласындағы ірі көлемді су тасқыны инфрақұрылымының табиғи апаттарға осалдығын және бейімделу шараларының қажеттілігін нақты көрсетеді.

Зерттеудің нысаны - Қазақстан Республикасындағы моноқалалардың инфрақұрылымдық жүйесі. Ғылыми мақаланың мақсаты болып, Қазақстан Республикасындағы моноқалалардың инфрақұрылымдық дамуына климаттың өзгеруі және табиғи апаттардың әсерін анықтау, соның нәтижесін негіздеу болып табылады.

Қойылған мақсатқа жету үшін зерттеу келесі міндеттерді шешуге бағытталған:

- Қазақстанға тән негізгі климаттық өзгерістерді және табиғи апаттарды талдау;

- еліміздегі моноқалалардың инфрақұрылымдық дамуының ерекшеліктерін зерттеу;

- Құлсары қаласының инженерлік, көлік және тұрғын үй инфрақұрылымының жағдайына климаттық факторлардың тигізетін әсерін бағалау;

- моноқалалардың инфрақұрылымын климаттық тәуекелдерге бейімдеудің басты негізгі бағыттарын анықтау.

Зерттеуде талдау және синтез әдістері, салыстырмалы талдау, жүйелік және құрылымдық-функционалдық тәсілдер, сонымен қатар статистикалық және аналитикалық деректерді талдау қолданылады.

Зерттеудің болжамы бойынша, климаттың өзгеруі және табиғи апаттардың жиілігінің артуы моноқалалардың инфрақұрылымдық осалдығын арттырады, сонымен қатар аумақтық даму жүйесінде кешенді бейімделу механизмдерін

енгізуді талап етудің маңызды факторлары болып табылады.

Зерттеудің ғылыми және практикалық маңыздылығы алынған нәтижелерді моноқалалардың тұрақты даму стратегияларын әзірлеуде, сонымен қатар жергілікті және аймақтық үкіметтердің қызметінде қолдану мүмкіндігінде жатыр.

Әдебиетерге шолу. Соңғы кездері қалалық инфрақұрылымның табиғи апаттарға төзімділігі халықаралық ғылыми әдебиеттерде кеңінен зерттеліп келеді. Әсіресе су тасқыны, климаттың өзгеруі және урбанизация жағдайында қаланың инженерлік, көлік және коммуналдық жүйелердің осалдығын бағалау маңызды ғылыми бағытқа айналып отыр.

Қалалық тұрақтылықты бағалау бойынша зерттеулерде «*resilience*» ұғымы инфрақұрылымның апатқа дейінгі дайындық, апат кезіндегі қызметін сақтау және апаттан кейін қалпына келу қабілеті ретінде қарастырылады. Жүйелі түрде әдебиетке шолуларда қалалық тұрақтылықты бағалау үшін индикаторлық тәсілдер, тәуекел карталары, көп критерийлі бағалау және модельдік талдау кең қолданылатыны көрсетілген.

Су тасқыны жағдайындағы қалалық инфрақұрылымның тұрақтылығын бағалауда *PSR* моделі (*Pressure–State–Response*) көп қолданылады. Бұл модель сыртқы қысым факторларын, инфрақұрылымның ағымдағы жағдайын және басқарушылық жауап шараларын бір жүйеге біріктіруге мүмкіндік береді. Мысалы, Z.Yang зерттеуінде су тасқыны жағдайында қалалық инфрақұрылым тұрақтылығын бағалау үшін *PSR* моделін және catastrophe progression әдісін біріктіріп, инфрақұрылымның уақыт бойынша өзгерісін талдаған [2].

Y.Zhang зерттеуінде қалалық су тасқынына төзімділікті бағалау үшін *PSR* негізіндегі индикаторлар жүйесін және «game theory» әдісін қолданған. Бұл зерттеу *PSR* моделінің қалалық жүйенің қысым–жағдай–жауап логикасын түсіндіруге ыңғайлы екенін дәлелдейді [3]. L.Jiao зерттеуінде де қалалық тұрақтылықты бағалауда *PSR* моделі құрылымын нейрондық желі, генетикалық алгоритм және кеңістіктік талдау әдістерімен біріктірген [4].

Қазақстан жағдайында климаттық тәуекелдер ерекше маңызға ие болып отыр. Соңғы уақыттағы зерттеулерде Қазақстанның батыс, солтүстік және оңтүстік-батыс аймақтарында су тасқыны қаупінің жоғары екені көрсетіледі. Су тасқындарының пайда болуының негізгі драйверлері ретінде жауын-шашынның өзгеруі, температураның көтерілуі, топырақ ылғалдылығы және жер пайдалану құрылымы аталады.

Құлсары қаласы үшін Жем өзені бассейніндегі су тасқыны ерекше зерттеу нысаны болып табылады. Ш.У.Лайсханов зерттеуінде Жем өзені алабындағы су тасқынының себептері мен салдарын жерүсті станциялары, Қазгидромет деректері және спутниктік ақпарат негізінде талдаған. Зерттеуде климаттың өзгеруі су тасқыны қаупін күшейтіп, әлеуметтік-экономикалық және экологиялық салдарға әкелетіні көрсетілген [5].

Моноқалалар бойынша дерек көздерінде олардың негізгі ерекшелігі ретінде экономиканың бір немесе бірнеше ірі кәсіпорынға тәуелділігі, еңбек нарығының тарлығы және инфрақұрылымдық базаның тозуы аталып өтеді. Қазақстандағы моноқалалардың дамуы бойынша зерттеулер аймақтық саясаттың сараланған тәсілін қажет ететінін көрсетеді. Кейбір моноқалаларда халық санының азаюы, қартаю үдерісі және экономикалық белсенділіктің төмендеуі байқалып жатыр.

Моноқалалардың әлеуметтік-экономикалық дамуы табиғи апаттар әсерімен күрделене береді. И.В.Мищенко зертеуінде Қазақстандағы моноқалалардың дамуы орталық қалаларға жақындығына, экономикалық мамандануына және аймақтық инфрақұрылымға тәуелді екенін көрсетеді. Осыған байланысты табиғи апаттар моноқалаларда тек физикалық инфрақұрылымға ғана емес, сонымен бірге жұмыспен қамту, инвестициялық тартымдылық және әлеуметтік тұрақтылыққа да әсер етеді [6].

Халықаралық зерттеулер климаттық бейімделу шараларының инфрақұрылымдық жоспарлауға енгізілуі қажеттігін атап өтеді. Қазақстан

бойынша климаттық бейімделу материалдарында климаттық деректерді жақсарту, бейімделу әдістемелерін әзірлеу және осал секторларды мемлекеттік жоспарлауға енгізу қажеттігі көрсетілген. *World Bank* деректері бойынша Қазақстанда құрғақшылық, температураның көтерілуі және экстремалды ауа райы құбылыстары инфрақұрылым мен аймақтық даму үшін ұзақ мерзімді қауіп тудырады [7].

Осылайша, әдебиеттерге шолу үш негізгі ғылыми қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Біріншіден, қалалық инфрақұрылымның табиғи апаттарға төзімділігі көпөлшемді индикаторлар арқылы бағалануы тиіс. Екіншіден, *PSR* моделі су тасқыны жағдайындағы инфрақұрылымдық тұрақтылықты талдауға тиімді әдістемелік негіз береді. Үшіншіден, Қазақстан моноқалалары үшін табиғи апаттар тек инженерлік емес, сонымен қатар әлеуметтік-экономикалық тәуекелдерді күшейтетін фактор болып табылады.

Зерттеу олқылығы. Қолданыстағы зерттеулерде су тасқыны тұрақтылығы, қалалық инфрақұрылым және климаттық тәуекелдер жекежеке қарастырылған. Бірақ Қазақстан моноқалаларының табиғи апаттарға инфрақұрылымдық осалдығы жеткілікті деңгейде кешенді зерттелмеген. Құлсары қаласы мысалында *PSR* моделі арқылы инфрақұрылымдық қысым, жағдай және жауап шараларын біріктіріп талдау ғылыми зерттеу тұрғысынан өзекті болып табылады.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу гипотезасы - қазіргі таңда климаттың өзгеруі және табиғи апаттардың жиілігінің артуы моноқалалардың инфрақұрылымдық дамуына кері әсер беретін факторлар болып табылады және аймақтық даму жүйесінде кешенді бейімделу, ең негізгісі басқару шешімдерін енгізуді талап етеді.

Зерттеу материалдарына Қазақстан Республикасының мемлекеттік органдарының ресми статистикалық деректері, тиісті министрліктер және әкімдіктерінің аналитикалық есептері, моноқалаларды дамыту бағдарламаларының мәліметтері, сондай-ақ климаттың өзгеруі, тұрақты даму және инфрақұрылым саласы бойынша ғылыми басылымдар кіреді. Сонымен қатар, е-өтініш арқылы қалалық әкімдіктен сұратып алынған деректер қолданылды. Зерттеу Этикалық кеңестің рұқсатымен жүргізілген болатын. Табиғи апаттардың жиілігі мен ауқымы, аймақтағы тұрғын үй қорының жағдайы, коммуналдық желілердің тозу деңгейі, сонымен қатар Құлсары қаласындағы қалпына келтіру жұмыстарының көлемі туралы сандық деректер пайдаланылды. Сапалық талдау сипаттамалық материалдарды, сараптамалық бағалауларды және де нормативтік құжаттарды қамтыды.

Бұл зерттеу су тасқыны жағдайындағы моноқалалардағы қалалық инфрақұрылымның тұрақтылығын талдауға кешенді тәсілді қолданады. Әдістемелік негіз - экология мен табиғи тәуекелдерді басқаруда кеңінен қолданылатын ***PSR*** *(Pressure–State–Response)* моделі.

Зерттеудің жалпы тәсілі. Зерттеу жүйелік және салыстырмалы талдауға негізделген. Бұл қалалық инфрақұрылымды көлік, энергетика, сумен жабдықтау және әлеуметтік элементтерді қамтитын өзара байланысты жүйе ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Экономикасы бір кәсіпорынға тәуелді, бұл олардың табиғи апаттарға осалдығын арттыратын моноқалалардың ерекшеліктеріне ерекше назар аударылады.

PSR моделін қолдану. *PSR* моделі талдауды құрылымдау үшін қолданылады және үш өзара байланысты компонентті қамтиды (1-сурет).

Апаттың дамуын кеңейтілген талдау. Процестерді тереңірек түсіну үшін апаттардың дамуына кеңейтілген талдау тәсілі қолданылады, ол динамикалық оқиғаларды ескеруді қамтиды:

- су тасқынына дейінгі кезең (дайындық және осалдық деңгейі);

- тікелей әсер ету кезеңі (қиратудың шыңы);

- қалпына келтіру кезеңі (бейімделу және төзімділікті арттыру).

Мұнда бір инфрақұрылым жүйесінің бұзылуы басқаларында істен шығуға әкеледі (мысалы, электр желілерінің су басуы өнеркәсіптік өндіріс пен көлік жүйелерінің тоқтауына әкеледі).

Деректерді жинау және талдау әдістері. Зерттеуде келесі әдістер қолданылады:

- ғылыми әдебиеттер мен статистикалық деректерді талдау;

- әртүрлі қалалардың салыстырмалы талдауы;

- инфрақұрылымдық өзара байланысты жүйелік талдау;

- таңдалған көрсеткіштерге негізделген тұрақтылықты сапалық бағалау.



1-сурет. *PSR* моделіне негізделген моноқаладағы инфрақұрылымның тұрақтылығын бағалау сызбасы

Инфрақұрылымның тұрақтылығын бағалау. Қалалық инфрақұрылымның тұрақтылығы келесі жолдармен бағаланады:

- су тасқынының әсеріне төтеп беру қабілеті;

- апаттан кейін қалпына келтіру деңгейі;

- жүйенің бейімделу қабілеті.

Осылайша, *PSR* моделін апаттың дамуын кеңейтілген талдаумен бірге пайдалану су тасқынының моноқалалардың инфрақұрылымына әсерін кешенді бағалауға және олардың төзімділігін арттырудың негізгі бағыттарын анықтауға мүмкіндік береді.

Қалалық инфрақұрылымның тұрақтылығын бағалау көрсеткіштері (Құлсары қаласы мысалында). Құлсары қаласының қалалық инфрақұрылымының су тасқыны жағдайындағы тұрақтылығын бағалау *PSR* моделіне сәйкес топтастырылған индикаторлар жүйесі негізінде жүзеге асырылады. Бұл индикаторлар қаланың әсерлерге төтеп беру, апаттардан кейін қалпына келу және болашақ тәуекелдерге бейімделу қабілетін сандық және сапалық тұрғыдан бағалауға мүмкіндік береді.

1. Апатқа қарсы төзімділік индикаторы (*Resistance*). Инфрақұрылымның су тасқынына төтеп беру қабілетін сипаттаңыз.

Апатқа қарсы төзімділік коэффициенті:

$$R_{\text{resistance}} = 1 - \frac{A_{\text{су тасқыны}}}{A_{\text{жалпы}}} \qquad (1)$$

Мұндағы:

$R_{resistance}$ - апатқа қарсы төзімділік коэффициенті;

$A_{су\ тасқыны}$ - су басқан аймақтардың көлемі;

$A_{жалпы}$ - қаланың жалпы көлемі.

2. Қазіргі жағдай индикаторы **(*State*).** Зақымдану көлемін және инфрақұрылымның қазіргі жағдайын көрсетіңіз. Негізгі көрсеткіштер:

- су басқан үйлер саны (бірлік);

- эвакуацияланған тұрғындар саны (адам);

- зақымдалған жолдардың ұзындығы (км);

- ажыратылған коммуналдық желілердің пайызы (%);

- жабылған кәсіпорындар саны (бірлік).

Инфрақұрылымның зақымдану индексі:

$$I_{\text{зақымдалу}} = \frac{N_{\text{зақымдалған}}}{N_{\text{жалпы}}} \qquad (2)$$

Мұндағы:

$I_{зақымдалу}$ – инфрақұрылымның зақымдану индексі;

$N_{зақымдалған}$ - зақымдалған нысандардың саны;

$N_{жалпы}$ - инфрақұрылым нысандарының жалпы саны.

3. Бейімделу әлеуетінің индикаторы (*Adaptation*). Олар қаланың болашақтағы тәуекелдерді азайту мүмкіндігін сипаттайды. Негізгі көрсеткіштер:

- су тасқынынан қорғау құрылыстарының болуы және ұзындығы (км);

- инфрақұрылымды жаңғырту деңгейі (%);

- алдын-ала ескерту жүйелерінің болуы (иә/жоқ);

- су тасқынынан қорғауға инвестициялар (теңге);

- экономиканы әртараптандыру дәрежесі (%).

Бейімделу индексі:

$$I_{\text{бейімделу}} = \frac{M_{\text{жаңа}}}{M_{\text{жалпы}}} \qquad (3)$$

Мұндағы:

$I_{бейімделу}$ - бейімделу индексі;

$M_{жаңа}$ - жаңғыртылған нысандар саны;

$M_{жалпы}$ - инфрақұрылым нысандарының жалпы саны.

Жалпылама тұрақтылықты бағалау. *PSR* моделіне негізделген индикаторларды кешенді қолдану қалалық инфрақұрылымның тұрақтылығын көп өлшемді бағалауға мүмкіндік береді. Ол тек тікелей физикалық залалды ғана емес, сонымен қатар жүйелік осалдықтарды және бейімделу мүмкіндіктерін де ескереді.

Құлсары қаласы жағдайында бұл тәсіл гидрологиялық тәуекелдерге жоғары ұшырауына және экономиканың бір салаға құрылымдық тәуелділігіне байланысты ерекше өзекті.

Зерттеу нәтижелерінің салыстырмалылығы мен қайталануын қамтамасыз ету үшін деректерді өңдеу, жүйелеу үшін жалпыға қолжетімді мәтіндік және кестелік талдау бағдарламалық жасақтамасы пайдаланылды.

Зерттеуді жүргізу кезінде талдау және синтез әдістері, салыстырмалы талдау, жүйелік және құрылымдық-функционалдық тәсілдері қолданылды. Құлсары моноқаласының инфрақұрылымдық мәселелерін зерттеу үшін, ресми есептермен және стратегиялық құжаттармен жұмыс барысында мазмұнды талдау элементтері үшін кейс-стади әдісі қолданылған. Бұл әдістерді кешенді қолдану климаттық факторлар және қала инфрақұрылымының жай-күйі арасындағы себеп-салдарлық байланыстарды анықтауға ықпалын тигізді.

Нәтижелер және талқылау. Зерттеу климаттың өзгеруі мен табиғи апаттар моноқалалар инфрақұрылымының дамуына айтарлықтай кері әсер етеді. Ол өз кезегінде коммуналдық желілердің тез тозуына, тұрғын үй қорының тозуына әкеледі. Сондықтан мұндай жағдайлар инфрақұрылымды қалпына келтіру жұмыстарына деген қажеттіліктің артуына әкелетінен анықтады. Нәтижелер гипотезаны растайды және Қазақстан Республикасындағы моноқалалардың инфрақұрылымын дамыту және жаңғырту стратегиясына климаттық факторларды енгізу керектігін көрсетеді.

Соңғы онжылдықта климаттық өзгерістер мемлекеттердің әлеуметтік-экономикалық дамуына тікелей және жанама әсер етті. Ол тұрақты және жеделдетілген сипатқа ие болады.

Климатта температураның біртіндеп көтерілуі, жауын-шашын құрылымының өзгеруі, гидрологиялық және атмосфералық экстремумдардың жиілеуі сияқты құбылыстар елімізде де байқала бастады. Бұл процестер әсіресе моноқалаларда, экономикасы бір қала құраушы кәсіпорынға тәуелді және әртараптандырылуы шектеулі елді мекендерде айқын көрінеді.

Қазақстан Республикасының өңірлік және инфрақұрылымдық дамуына қатысты стратегиялық құжаттарды талдау моноқалалардың инфрақұрылымдық тұрақтылығы мемлекеттік саясаттың басым бағыты екенін көрсетеді. Атап айтқанда, 2025-2030 жылдарға арналған өңірлік даму тұжырымдамасында моноқалалар «бір табысты қалалар» санатына енгізіліп, олардың әлеуметтік-экономикалық осалдығы, соның ішінде инженерлік және көлік инфрақұрылымының тозуы, жұмыспен қамтудың төмен деңгейі және инвестициялық тартымдылықтың әлсіздігі негізгі проблемалар ретінде белгіленген. Бұл құжатта Құлсары сияқты қалалар үшін инфрақұрылымды жаңғырту, аймақтық теңгерімсіздікті азайту және экономиканы әртараптандыру қажеттілігі нақты көрсетілген. Сонымен қатар, 2029 жылға дейінгі ұлттық инфрақұрылымдық жоспар (№606) шеңберінде су бұру жүйелері, жол желілері, энергия және коммуналдық инфрақұрылымды жаңарту, сондай-ақ «цифрлық инфрақұрылым» нысандарын салу мен енгізу, атап айтқанда талшықты-оптикалық байланыс желілерін, деректерді өңдеу және сақтау орталықтарын, цифрлық мониторинг және ерте ескерту жүйелерін дамыту қарастырылған, бұл табиғи апаттарға төзімділікті арттыруда маңызды рөл атқарады. Бұдан бөлек, моноқалалардың инфрақұрылымдық дамуы Қазақстанда қабылданған «2023–2029 жылдарға арналған цифрлық трансформация, ақпараттық-коммуникациялық технологияларды және киберқауіпсіздік саласын дамыту тұжырымдамасының» (№269 қаулы) ережелеріне негізделіп айқындалуы тиіс, өйткені бұл құжат цифрлық басқару, деректерге негізделген шешім қабылдау және инфрақұрылымды интеллектуалдандыру арқылы қалалардың тұрақтылығын арттыруды көздейді. Осы құжаттарды *PSR (Pressure–State–Response)* моделі тұрғысынан қарастырсақ, климаттық және демографиялық факторлар (су тасқыны, урбанизация) сыртқы қысым (*Pressure*) ретінде әрекет етеді, инфрақұрылымның тозуы мен оның бұзылуы ағымдағы жағдайды (*State*) сипаттайды, ал аталған стратегиялық бағдарламалар аясында жүзеге асырылатын жаңғырту, цифрландыру және басқарушылық шаралар жүйенің жауабы (*Response*) ретінде көрінеді. Осылайша, инженерлік және цифрлық инфрақұрылымды кешенді дамыту моноқалалардың табиғи апаттарға төзімділігін арттырудың негізгі шарты болып табылады [8].

Зерттеу нәтижелері Қазақстандағы көптеген моноқалалардың инженерлік инфрақұрылымы 1960-1980 жылдар аралығында дамығанын көрсетеді, ол кезеңде температураның аз ауытқуымен және гидрологиялық жүктемелердің төмендеуімен сипатталады. Қазіргі климаттың өзгеруі осы жобалау параметрлерінен айтарлықтай асып түседі және бұл инфрақұрылым нысандарының сенімділігі мен төзімділігін төмендетеді.

Бақылаулар нәтижесі көрсеткендей, Қазақстандағы орташа жылдық температура соңғы 30 жылда шамамен 2°C-қа өсті. Бұл өз кезегінде жылумен жабдықтау жүйелеріне, сумен жабдықтау жүйелеріне, жол және энергетикалық инфрақұрылымға айтарлықтай әсер ететіні белгілі. Температура деңгейінің көтерілуі құбырларға жылу жүктемесінің артуына, оқшаулағыш материалдардың тез тозуына, жол беттерінің деформациясына және коммуналдық желілердегі апаттардың артуына әкеледі. Инфрақұрылымның физикалық тозу деңгейі нормативтік шектен асып кеткен моноқалаларда климаттық факторлар жүйенің істен шығуының катализаторына айналады [9].

Сонымен қатар елімізде су тәуекелдерінің артуы байқалды. Еліміздің бірнеше аймағында су тасқыны мен су басу жиілігінің 30-40% -ға артуы жолдардың бұзылуына, су және кәріз желілерінің зақымдалуына, нөсер су жүйелерінің шамадан тыс жүктелуіне және техногендік апаттардың көбеюіне әкеліп соқтыруды. Бұндай процестер моноқалалар үшін, соның ішінде

коммуналдық инфрақұрылымы төмен аймақтар үшін қауіпті.

Жалпы елімізде халық саны 1,4 млн адам саны бар 20 моноқалалар бар. Қаланың әлеуметтік-экономикалық жағдайы және даму әлеуетіне қарай үш топқа жіктеуге болады. Ол төмендегі 1-кестеде көрсетілген.

1-кесте. Даму деңгейі және мемлекеттік қолдау қажеттілігі бойынша Қазақстан моноқалаларының жіктелуі

Моноқалалар тобы	Сипаттамасы	Қалалар
Мемлекеттік қолдаудың қосымша шараларын талап ететіндер	Тұрақтылық пен дамуды қамтамасыз ету үшін мемлекеттің қолдауына мұқтаж әлеуметтік-экономикалық дамуы төмен қалалар	Жітіқара, Қаражал, Курчатов
Экономиканы әртараптандыру үшін тұрақты даму және әлеуеті бар	Экономикалық салаларды кеңейту және әртараптандыру мүмкіндігі бар салыстырмалы түрде тұрақты экономикасы бар қалалар	Жаңаөзен, Сәтпаев, Балқаш, Құлсары, Риддер, Ақсай, Абай, Хромтау, Лисаков, Шахтинск, Алтай
Экономиканы әртараптандыру сатысында тұрған	Экономиканы әртараптандыру, бір өнеркәсіптік секторға тәуелділікті азайту жөніндегі жобаларды белсенді іске асыратын қалалар	Темір, Екібастұз, Ақсу, Рудный, Кентау, Степногорск
Дереккөз [10,11]		

Тұрақты әлеуметтік-экономикалық дамуды қамтамасыз ету үшін мемлекеттік қолдаудың қосымша шаралары қажет. Бұл санатқа үш қала кіреді: Жітіқара, Қаражал, Курчатов.

Моноқалалардың экономиканы одан әрі әртараптандыру үшін тұрақты дамумен және әлеуеті бар. Бұл топқа 11 моноқалалар кіреді: Жаңаөзен, Сәтбаев, Балқаш, Құлсары, Риддер, Ақсай, Абай, Хромтау, Лисаковск, Шахтинск және Алтай [10].

Теміртау, Екібастұз, Ақсу, Рудный, Кентау және Степногорск сияқты моноқалалар экономиканы әртараптандыру сатысында.

Бүгінгі таңда Қазақстанның моноқалаларында инвестициялық жобалар жүзеге асырылып, офтейк-келісімшарттар кеңейтілуде және индустриялық аймақтар құрылуда. Бұндай сипаттағы шаралар моноқалалардың экономикалық әлеуеттін арттырып қана қоймайды, сонымен қатар өндірістік сектордағы тәуелділікті азайтады және әртараптандырылған даму стратегиясын іске асыруға мүмкіндік береді [12].

Осы саланы мемлекеттік қолдау шаралары коммуналдық жүйелерді жаңғыртуды, климаттық тәуекелдерге төзімділікті арттыруды, өнеркәсіп салаларын әртараптандыруды қоса алғанда, моноқалалардағы экономикалық және инфрақұрылымдық саясатты одан әрі жетілдіру үшін негіз қалыптастырады.

Бұндай үрдістер Атырау облысындағы моноқала Құлсары қаласында айқын байқалады. Құлсары қаласы - Атырау облысы Жылыой ауданының әкімшілік орталығы болып табылады. Ол 1937 жылы қарапайым жұмысшы кенті ретінде құрылып, 2001 жылы қала мәртебесіне ие болған. Бүгінгі таңда Қазақстанның мұнай өндіру орталығына айналды.

Бұл аймақ Қазақстандағы мұнай өндіретін моноқалалардың бірі, оның экономикасы негізінен мұнай-газ компанияларының қызметіне тәуелді болып табылады. Мұнда қала халқының саны 60 мың адамнан асады, жұмыс істейтін халықтың

басым бөлігі мұнай және қызмет көрсету салаларында жұмыс жасайды. Қаланың коммуналдық және тұрғын үй инфрақұрылымы негізінен кеңестік кезеңде қалыптасқан, сонымен қатар физикалық тозудың жоғары деңгейімен сипатталады.

2-кесте. Қазақстан моноқалалардың инфрақұрылымдық тұрақтылық көрсеткіштері

Моноқала	Қорғаныс құрылымдары (км)	Жаңғырту (%)	Алдын-ала ескерту	Инвестициялар (млрд теңге)	Әртараптандыру индексі
Курчатов	5–10	~35	ішінара	10–30	төмен
Степногорск	5–10	35–45	ішінара	20–60	төмен
Хромтау	10–20	~40	иә	30–70	орташа
Құлсары	10–25	30–40	ішінара	20–50	төмен
Алтай	10–25	~45	иә	40–80	төмен–орташа
Риддер	15–35	~50	иә	50–100	төмен–орташа
Ақсай	10–20	~50	иә	60–120	орташа
Абай	5–10	~35	ішінара	10–30	төмен
Балқаш	10–20	~45	ішінара	40–80	орташа
Теміртау	20–40	50–60	иә	80–150	орташа
Шахтинск	5–10	~35	ішінара	10–30	төмен
Жітіқара	5–15	~40	ішінара	20–50	төмен
Лисаковск	5–15	~40	ішінара	20–50	төмен–орташа
кен	10–25	~45	иә	40–90	орташа
Жаңаөзен	5–15	~35	иә	30–70	төмен
Ақсу	10–20	~45	иә	50–100	орташа
Екібастұз	15–30	40–50	иә	50–100	орташа
Кентау	5–10	30–40	әлсіз	10–30	төмен
Қаражал	5–10	~30	жоқ	10–20	төмен–орташа
Сәтбаев	10–20	~40	ішінара	30–60	төмен–орташа
Дереккөз [8,13,14]					

Кестеде ұсынылған көрсеткіштер *PSR (Pressure–State–Response)* моделі негізінде қалыптастырылды. Индикаторлар жүйесі табиғи апаттардың инфрақұрылымға әсерін кешенді бағалау мақсатында сыртқы қысым факторларын (*Pressure*), инфрақұрылымның ағымдағы жағдайын (*State*) және басқарушылық жауап шараларын (*Response*) қамтиды.

Модернизация деңгейі, инвестициялар және инфрақұрылымдық даму көрсеткіштері ресми статистикалық деректердің шектеулі болуына байланысты жанама (*proxy*) бағалау әдісі арқылы анықталды. Бағалау кезінде инфрақұрылымның тозу деңгейі, инвестициялар көлемі және қалалардың экономикалық мамандануы ескерілді.

2023 жылы Қазақстандағы моноқалалардың

жаңа тізбесі бекітілді. Тізімнен жеті моноқала: Арқалық, Жаңатас, Жезқазған, Қаратау, Саран, Серебрянск, Текелі шығарылды. Әр қала бойынша жеке шешім қабылданды.

Жалпы моноқалалардың көбінде халық саны ұлғайып отырған жоқ. Мәселен, 2019 – 2023 жылдар аралығында моноқалалар халқының саны 1357,6 мың адамнан 1349,2 мың адамға дейін немесе 0,6%-ға азайды.

2-кесте көрсетілгендей инфрақұрылымның жеткілікті дамымауы инвестиция тартуды және кәсіпкерлікті дамытуды едәуір тежейді, бұл өз кезегінде моноқалалардың экономикалық проблемаларын күрделендіре түседі.

Бүгінгі күні моноқалаларда инженерлік және көліктік инфрақұрылымды жаңғырту талап етіледі. Мәселен, 8 моноқалада жолдардың 25%-дан астамы қанағаттанарлықсыз жағдайда (Лисаковск қаласында жолдардың 15,8%-ы ғана қанағаттанарлық жағдайда, бұл барлық моноқалалар арасындағы ең төменгі көрсеткіш).

Инженерлік инфрақұрылымның тозуы да едәуір жоғары болып отыр: кәріз желілерінің тозуы - 66,5%, сумен жабдықтау желілерінің тозуы -55,8%, электр желілерінің тозуы - 61,3%. Мысалы, жергілікті атқарушы органдардың деректері бойынша 2023 жылы Алтай қаласында инженерлік желілердің тозуы: жылу желілерінде 89%-ды, сумен жабдықтау желілерінде 90%-ды, кәріз желілерінде -88%-ды, электр желілерінде 56%-ды құрады.

Моноқалалардағы коммуналдық инфрақұрылым объектілерінің ішінде бірқатар ЖЭО жаңғыртуды талап етеді. Жылу желілерінің орташа тозуы 59%-ды құрайды. Екібастұз (91%), Степногорск (80,7%), Хромтау (78%), Балқаш (78%), Абай (69%), Алтай (68%), Шахтинск (68%), Рудный (66%), Кентау (65%), Теміртау (62%), Риддер (60%) қалаларында желілер ең көп тозған [15].

Зерттеу әдіснамасында көрсетілген кейстік талдау бойынша су тасқыны болған Құлсары моноқаласын алған болатынбыз. Мәліметтердің шектеулілігіне қарамастан негізгі гипотезамыз дәлелденді. Себебі бірнеше тәсілдердің қолданылу негізінде басқа моноқалалардың да құжаттарындағы мәліметтер көрсетілген мәліметтердің бірден бір әсері болды. Құлсары қаласы Атырау облысының ірі өнеркәсіптік және көлік тораптарының бірі болып саналады, қала Атырау облысы әкімшілік орталығынан 230 км қашықтықта орналасқан. Географиялық тұрғыдан алсақ, Құлсары гидрологиялық тұрғыдан осал аумақта орналасқан. Ембі өзенінен 11 км қашықтықта орналасқан, оның аумағы арқылы Құрсай өзені ағып өтеді, қала шегінде Жем өзені мен Қамыскөл көлі бар. Осындай аталған су объектілерінің болуы, бір жағынан табиғи-ресурстық әлеуетті қалыптастырса, екінші жағынан су тасқыны, су басу қаупін арттырады.

Көлік инфрақұрылымы тұрғысынан алсақ, қала арқылы республикалық маңызы бар Атырау-Маңғышлақ автомобиль жолы, сонымен қатар Мақат-Құлсары-Бейнеу теміржол желісі өтеді. Бұл Құлсарының аймақтық логистикадағы рөлін күшейтеді.

Соңғы бес жылдықта Құлсары қаласының халқы 5,3%-ға өсті.3-кестеде көрсетілгендей 2019 жылы 61541 адамнан 2024 жылы 64820 адамға дейін жетіп отыр. Алайда демографиялық құрылымда қарама-қайшы үрдістер бар: бұл өңірде оң табиғи өсім сақталғанымен, көші-қон сальдосы теріс мәнге ие.2019 жылы қала халқының көші-қон арқылы кетуі 457 адамды құраса, ал 2024 жылы бұл көрсеткіш 2233 адамға дейін өскенін байқауға болады. Сонымен бірге табиғи өсім қарқыны көрсеткішінің баяулауы байқалады, яғни 2019 жылы 1500 адам болған табиғи өсім 2024 жылы 38,3%-ға қысқарды, 926 адам. Осыған қарамастан, туу деңгейінің салыстырмалы түрде жоғары болуы аймақта халық санының жалпы өсімін қамтамасыз етіп отыр.

Құлсарының моноқалалық сипатын әлеуметтік-экономикалық көрсеткіштер арқылы көруге болады.2024 жылы аймақта орташа айлық жалақы 781163 теңгені құрады (2024 жылдың үшінші тоқсаны бойынша), бұл облыс бойынша орташа деңгейден айтарлықтай жоғары (облыс бойынша 612970 теңге). Бұл көрсеткіш арқылы қаланың мұнай-газ секторына тәуелділігін көруге болады және де еңбекақы деңгейінің салалық ерекшелігін көрсетеді.

3-кесте. Құлсары қаласының әлеуметтік-экономикалық және инфрақұрылымдық сипаттамалары

Көрсеткіш	Мәні	Түсіндірме
Негізгі сала	Мұнай өндіру	Өнеркәсіптің 97,3%-ы
Қала құраушы кәсіпорын	«Теңізшевройл» ЖШС	Теңіз мұнай кен орны
Мұнай қоры	1,4 млрд тонна (11,5 млрд баррель)	Әлемдегі ірі кен орындарының бірі
Халық саны (2024 ж.)	64 820 адам	5,3% өсім
Табиғи өсім (2024 ж.)	926 адам	38,3% төмендеу
Көші-қон сальдосы (2024 ж.)	–2 233 адам	Кетудің өсуі
Орташа айлық жалақы (2024 ж., III тоқсан)	781 163 теңге	Облыс ортасынан жоғары
Өнеркәсіп өнімінің көлемі (2024 ж.)	9 087,9 млрд теңге	Мұнай саласының басымдығы
Су объектілері	Жем өзені, Құрсай өзені, Қамыскөл	Су тасқыны қаупі
Негізгі мәселелер	Экология, тозған инфрақұрылым, су тасқыны қаупі	Климаттық тәуекелдермен күшейеді
Дереккөз [13,14,16]		

Құлсары моноқаласы өнеркәсіптік өндірістің 97,3%-ын мұнай өндіруді қамтамасыз етеді. Қалада ең ірі кен орны бар, ол құраушы кәсіпорын «Теңізшевройл» ЖШС әлемдегі ең ірі мұнай кен орындарының бірі болып саналады, оның қоры шамамен 1,4 млрд тоннаны құрайды (11,5 млрд баррель).2024 жылы қаладағы өнеркәсіп өнімінің жалпы көлемі 9087,9 млрд теңгені құрады, ал негізгі капиталға тартылған инвестициялар көлемі 1046,3 млрд теңгені құрады.

Бүгінгі таңда қалада өнеркәсіптік әлеуетті дамытуға бағытталған бірқатар инвестициялық жобалар жүзеге асырылуда. Олардың ішінде металл комбинатын салу («Металл Продукт» ЖШС) және де мұнай шламын кайта өңдеу өндірісін жаңғырту («Эко Техникс» ЖШС) ерекше маңызды болып табылады.

Сонымен қатар Құлсары қаласының дамуына кері әсер ететін факторлар бар. Аймақта мұнай өндірудің қарқынды жүргізілуі, орман қорғау шараларының жеткіліксіздігі, су объектілерінің қанағаттанарлықсыз экологиялық жағдайымен байланысты экологиялық мәселелер өзекті болып отыр. Аймақта қалалық инфрақұрылымды жаңғырту, сапалы тұрғын үймен қамтамасыз ету, коммуналдық желілердің тозуын азайту, көлік жүйесінің тиімділігін арттыру мәселелері де өз шешімін тапқан жоқ. Осындай аталған мәселелер климаттық өзгерістер мен су тасқыны тәуекелдерінің қаланың инфрақұрылымдық тұрақтылығын арттыруды стратегиялық міндеті ретінде алға қояды [17].

4-кесте бойынша Құлсары аймағында су тасқынының жоғары жиілігі, яғни 30-40%-ға артуы айтарлықтай гидрологиялық тұрақсыздық көрсетеді. Бұл қалалық инфрақұрылымдағы жүйелік апаттар мен төтенше жағдайлардың ықтималдығын арттыратыны белгілі.

Өңірде 2500-ден астам тұрғын үй ғимараттарының зақымдануы әсерінен тұрғын үйлерге деген ауқымды әсерлер анықталды, бұл өз кезегінде аумақтардың су тасқынына осалды-

ғын көрсетеді. Бұл төтенше жағдайларды алдын-ала жоспарлау және қолданыстағы ғимараттарды жаңғырту қажетті екендігін көрсетеді.

4-кесте. Құлсары қаласындағы су тасқыны тәуекелі

Көрсеткіш	Мәні	Әсері
Су тасқынының қайталану жиілігі	30–40 % өскен	Гидрологиялық тұрақсыздық
Су тасқыны салдарынан зардап шеккен тұрғын үйлер	2 500 үй	Жаппай тұрғын үй қорының бүлінуі
Авариялық деп танылған тұрғын үйлер	≈1 000 үй	Қоныс аудару және жаңа құрылыс қажеттілігі
Су басқан аумақтар	Тұрғын және өнеркәсіптік аймақтар	Инженерлік желілердің істен шығуы
Дереккөз [18]		

Өңірде шамамен 1000 ғимараттың апатты жағдайда тұрғандығын және қоғамдық қауіпсіздікке тікелей қауіп төндіретінін, бұл мәселе стратегиялық бюджеттік және инфрақұрылымдық инвестицияларды қажет ететінін көрсетеді. Мұндағы басты шешім тұрғын үйлерді көшіру немесе салу қажеттілігі болып табылады [18].

Құлсары қалалық инфрақұрылымның өзгеруі 2025 жылы негізінен коммуналдық және энергетикалық желілерді жөндеу және жаңғыртумен байланысты болды. Өңірде орталықтандырылған жүйелермен қамту деңгейі жақсы көрсеткішті көрсетеді: газбен жабдықтау - 100%, сумен жабдықтау -99,3%, электрмен жабдықтау - 100% құрайды. Сонымен бірге, проблемалық бағыттарды алсақ, бірінші кезекте су бұру және экологиялық жағдай сақталуда. Қала аумағының тек 40%-ы ғана орталықтандырылған кәрізбен қамтылған. Ал қалған ағынды сулар елді мекеннен 12 км қашықтықта орналасқан булану алаңына жіберіледі.

Қалада экологиялық қауіпсіздікті арттыру үшін және санитарлық-гигиеналық жағдайларды жақсарту үшін өнімділігі тәулігіне 10000 $м^3$ кәріз тазарту станциясын салу жобасы әзірленіп жатыр, осыған байланысты құрылыс жұмыстарын бастау 2026 жылға жоспарланып отыр. Сонымен қатар, аймақта магистральдық кәріз желілері құбырларын ауыстыру, су құбыры желілерінің авариялық учаскелерін ауыстыру жұмыстары жүргізілуде. Сондай-ақ өнімділігі тәулігіне 18000 $м^3$ ауыз суды тазарту станциясын және төрт шағын аудан үшін суды көтеретін сорғы станцияларын сатып алу, оны орнату жұмыстары жүргізілуде. Қазіргі уақытта жоспарланған жұмыстардың 80% орындалды.

Тұрғын үй саласына тоқталатын болсақ, негізгі мәселе авариялық тұрғын үй қоры болып қала береді.2024 жылы 126 тұрғын үйге техникалық тексеру жүргізіліп, нәтижесінде 97 нысан апатты деп танылды. Бүгінгі таңда 2025-2029 жылдарға арналған авариялық тұрғын үйді бұзу жөніндегі жол картасы бекітілді, 9 апатты үй бұзылды.2021-2024 жылдардың аралығында 19 апатты тұрғын үйден 224 пәтер иесі жаңа тұрғын үймен қамтамасыз етілді. Бұл тұрғын үй қорын жаңартуға және қалалық ортаның сапасын арттыруға нысаналы көзқарасты көрсетеді.

Сонымен қатар, аймақта коммуналдық және энергетикалық инфрақұрылымды жаңғыртудан басқа, теңіз кентінде - газды өңдеу, полимер зауытының құрылысы өнеркәсіптік жобаны іске асыру жұмыстары басталды. Бұл жоба аймақтың экономикалық құрылымына айтарлықтай әсер етеді, 1700-ге жуық жұмыс орнын ашады деп болжануда. Сондай-ақ бұл жобаның ерекшелігі көлік жобаларын, энергиямен жабдықтауды, су бұру жүйелерін қоса алғанда, қолда-

ныстағы Құлсары қалалық және инженерлік инфрақұрылымымен интеграциялауды талап етеді. Бұл стратегиялық жоспарлаудың және қала аумағының әлеуметтік-экономикалық, климаттық тәуекелдерге тұрақтылығын арттырудың маңызды элементіне айналдырады.

Тұрғын үй мен өнеркәсіптік аумақтарды су басу коммуникациялардың, соның ішінде сумен жабдықтау, кәріз және электр қуатының істен шығуына әкеледі. Бұл өз кезегінде қалалық инфрақұрылымның жұмысына кері әсерін тигізеді. Жалпы алғанда, су тасқыны Құлсары үшін айтарлықтай климаттық және әлеуметтік-экономикалық қауіп төндіреді. Бұндай тәуекелді тиімді басқару үшін қала құрылысына гидрологиялық деректерді енгізу, инженерлік қорғауды күшейту, өзгермелі климаттық жағдайларға кешенді бейімделу шараларын әзірлеуді қажет етеді [19].

Соңғы жылдардағы су тасқыны Құлсары қаласының инфрақұрылымына айтарлықтай шығын әкелді. Ресми мәліметтер бойынша, мыңдаған тұрғын үй соның салдарынан жарамсыз болып қалды. Сонымен қатар, су және ағынды су жүйелеріне кері әсер етті. Төтенше жағдайлардың салдарын жоюға, жаңа тұрғын үйлер салуға, коммуналдық желілерді қалпына келтіруге айтарлықтай бюджеттік қаражат бөлінді.

Зерттеулер климаттың өзгеруі моноқалалардағы бар құрылымдық мәселелерді ушықтырып, инфрақұрылымдық осалдығын арттырып жатқанын растайды. Осыған сәйкес, интеграцияланған климаттық осалдығын бағалау көрсеткіштерін әзірлеу шараларын енгізу, стратегиялық бейімделу, коммуналдық желілерді жаңғырту, қала құрылысы шешімдерін нақтылау, су тасқыны қаупін ескере отырып аумақтарды аймақтарға бөлу, климаттық факторларды моноқалаларды дамыту жоспарларына енгізу маңызды шешім болып табылады [20,21].

Құлсары қаласы моноқалалық құрылымға тән: мұнда өнеркәсіп өнімінің 97,3% мұнай өндірумен байланысты, өңірде «Теңізшевройл» ЖШС ірі кәсіпорын болып табылады. Мұндай секторлық концентрация экономикалық тұрақтылықты қамтамасыз етсе де, климаттық өзгерістерге, гидрологиялық тәуекелдер жағдайында инфрақұрылымдық осалдықты арттырады. Осындай шаралар қала деңгейінде ұзақ мерзімді стратегиялық шараларды енгізу және жүзеге асыруды талап етеді [22,23]. Мұндай кешенді тәсіл инфрақұрылымдық шығындарды азайтып, болашақтағы климаттық және гидрологиялық тәуекелдердің әсерін минимизациялауға жағдай жасайды.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу нәтижелері Құлсары қаласының инфрақұрылымдық жүйесі табиғи апаттар жағдайында жоғары осалдыққа ие екенін көрсетті. *PSR (Pressure–State–Response)* моделі негізінде талдау климаттық және гидрологиялық факторлардың (су тасқыны, жауын-шашынның артуы) сыртқы қысымды (*Pressure*) күшейтетіні, ал инженерлік және коммуналдық инфрақұрылымның тозуы оның ағымдағы жағдайының (*State*) әлсіздігін анықтайтыны дәлелденді. Сонымен қатар, қабылданып жатқан басқарушылық және инженерлік шаралардың (*Response*) жеткіліксіздігі жүйенің толыққанды тұрақтылығын қамтамасыз етпейтінін көрсетті.

Осы нәтижелерге сүйене отырып, ұсынылған бейімделу шаралары зерттеу барысында анықталған нақты проблемалармен тікелей байланысты. Атап айтқанда, коммуналдық желілердің тозуы мен өткізу қабілетінің жеткіліксіздігі су тасқыны кезінде қызмет көрсету жүйелерінің істен шығуына алып келетіні анықталды, сондықтан сумен жабдықтау, кәріз және дренаж жүйелерін жаңғырту олардың тұрақтылығын арттырудың негізгі шарты болып табылады. Сол сияқты, тұрғын үй мен өндірістік нысандардың су басу аймақтарында орналасуы және қорғаныс инфрақұрылымының жеткіліксіздігі анықталғандықтан, ғимараттардың биіктік белгілерін арттыру, қорғаныс бөгеттерін салу және қауіпті аймақтарды қайта жоспарлау қажеттілігі негізделеді.

Зерттеу нәтижелері көлік және қалалық жоспарлау жүйелерінің де гидрологиялық тәуекелдерді ескермей қалыптасқанын көрсетті, бұл су тасқыны кезінде байланыс пен қолжетімділіктің бұзылуына әкеледі. Осыған байланы-

сты климаттық және гидрологиялық тәуекелдерді қала құрылысы, көлік және коммуналдық инфрақұрылымды жоспарлау процестеріне енгізу ұзақ мерзімді тұрақтылықты қамтамасыз етудің маңызды құралы болып табылады. Сонымен қатар, талдау көрсеткендей, су деңгейін жедел бақылау мен болжау жүйелерінің жеткіліксіздігі залалдың артуына ықпал етеді, сондықтан цифрлық мониторинг, ерте ескерту және автоматтандырылған гидрометеорологиялық жүйелерді енгізу басқарушылық жауаптың тиімділігін арттырады.

Жалпы алғанда, ұсынылған шаралар кездейсоқ емес, олар *PSR* моделі арқылы анықталған негізгі тәуекелдер мен осалдықтарға негізделген. Бұл өз кезегінде моноқалалардың инфрақұрылымдық тұрақтылығын арттыру үшін тек инженерлік емес, сонымен қатар басқарушылық, жоспарлау және цифрлық шешімдерді қамтитын кешенді тәсілдің қажеттілігін көрсетеді. Осы тәсілді іске асыру Құлсары қаласының су тасқынына төзімділігін арттырып қана қоймай, өңірдің әлеуметтік-экономикалық тұрақтылығын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Ұсынылған индикаторлық кесте Қазақстанның моноқалаларындағы инфрақұрылымдық тұрақтылықты салыстырмалы бағалауға мүмкіндік береді және болашақ зерттеулер үшін бірнеше маңызды бағыттарды айқындайды. Біріншіден, әртүрлі даму деңгейіндегі қалаларды (мысалы, Теміртау, Екібастұз және Кентау, Қаражал) салыстыру арқылы инфрақұрылымдық модернизация мен инвестициялар деңгейінің табиғи апаттарға төзімділікке әсерін сандық тұрғыдан бағалау өзекті болып табылады. Екіншіден, су тасқыны қаупі жоғары қалалар үшін (Құлсары, Риддер) гидрологиялық модельдеу мен климаттық сценарийлерді пайдалана отырып, тәуекелдерді болжау және алдын алу стратегияларын әзірлеу қажет. Үшіншіден, цифрлық инфрақұрылымның (ерте ескерту жүйелері, мониторинг, деректер платформалары) дамуы мен инфрақұрылым тұрақтылығы арасындағы байланысты зерттеу маңызды, әсіресе индустриялық қалаларда (Ақсу, Рудный). Төртіншіден, моноқалалардың әлеуметтік-экономикалық көрсеткіштерін (жұмыспен қамту, табыс деңгейі, көшіқон) инфрақұрылымдық осалдықпен біріктіре отырып, кешенді тұрақтылық индексін әзірлеу қажеттілігі туындайды. Сонымен қатар, әр қала үшін *PSR (Pressure–State–Response)* моделі негізінде кеңейтілген бағалау жүргізіп, сыртқы қысым факторларының, инфрақұрылым жағдайының және басқарушылық жауап шараларының өзара байланысын анықтау перспективалы бағыт болып табылады. Жалпы алғанда, болашақ зерттеулер инженерлік, цифрлық және әлеуметтік факторларды біріктіретін көпдеңгейлі тәсілге негізделуі тиіс, бұл моноқалалардың табиғи апаттарға төзімділігін арттыруға бағытталған ғылыми негізделген шешімдер әзірлеуге мүмкіндік береді.

Әдебиеттер

1. Bole D., Mrdakovic M.S., Tiran J. From a mining town to a town of industrial multinationals: Explaining transformation through human agency and mining assets // The Extractive Industries and Society. -2023. -Vol.14: 101243. DOI 10.1016/j.exis.2023.101243.

2. Liu Y., et al. Using learned PSR model for planning under uncertainty // 23rd Canadian conference on Advances in Artificial Intelligence. -2010. -P.309-314. DOI 10.1007/978-3-642-13059-5_35.

3. Zhang Y., Shang K. Cloud model assessment of urban flood resilience based on PSR model and game theory // International Journal of Disaster Risk Reduction. -2023. -Vol.97: 104050. DOI 10.1016/j.ijdrr.2023.104050.

4. Jiao L., Wang L., Lu H., Fan Y., Zhang Y., Wu Y. An assessment model for urban resilience based on the pressure-state-response framework and BP-GA neural network // Urban Climate. -2023. -Vol.49: 101543. DOI 10.1016/j.uclim.2023.101543.

5. Лайсханов Ш., Шарапханова Ж., Нұрмағамбетұлы Ж. Көктемгі су тасқыны кезіндегі атырау қаласы маңының су басу жағдайына географиялық талдау// ҚазҰУ хабаршысы. География сериясы. -2025. -№.76(1). -Б. 113-124. DOI 10.26577/JGEM20257619.

6. Mishchenko I.V., Mishchenko V.V. Socio-economic policy issues in single-industry towns in Kazakhstan as a basis for planning their development// Journal of Economic Research and Business Administration. -2023. -№. 3(145). -P.74–83. DOI 10.26577/be. 2023. v145.i3.07.

7. World Bank. Climate risk country profile: Kazakhstan/World Bank. -2021. URL: https: //climateknowledgeportal.worldbank.org/sites/default/files/2021-06/15834-WB_Kazakhstan% 20Country%20Profile-WEB.pdf. Қаралған күні: 12.01.2026.

8. Қазақстан Республикасы Үкіметі.2025 жылға дейінгі өңірлік дамудың мемлекеттік бағдарламасы. -2024. URL: https://zakon.uchet.kz/kaz/docs/U2100000521#z13. -Қаралған күні: 12.01.2026.

9. Han-Sol L., et al. SME Growth and Economic Inefficiency Due to Environmental Pollution: The Case of SMEs in Monocities of Kazakhstan // R-Economy. -2025. -Vol.11 (2). -P.234-252. DOI 10.15826/recon.2025.11.2.012.

10. Dyussembekova Zh.M., et al. Analysis of labor market trends in single-industry towns in Kazakhstan// Central Asian Economic Review. -2023. -Vol.2(149). -P.44-56. DOI1 0.52821/2789-4401-2023-2-44-56.

11. Сатыбалдин А.А., Балықбаева А.Ш., Өмір А.С. ҚР моноқалаларының әлеуметтік-экономикалық дамуы деңгейін бағалау: Жаңатас және Қаратау моноқалаларының мысалында // Статистика, есеп және аудит. -2024. -Т. 2(93). -Б.89-103. DOI 10.51579/1563-2415.2024.-2.07.

12. Нурланова Н. К. Моногорода Казахстана: методические основы оценки состояния и направления развития /Институт экономики КН МОН РК. -2014. -256 с. ISBN 6012150962, 9786012150964.

13. Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайлар министрлігінің Төтенше жағдайлар комитеті. Су тасқыны жағдайы және ерте ескерту жүйесінің есептері. -2026. URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/emer/press/news/details/1214212?lang=kk. Қаралған күні: 12.01.2026.

14. Қазақстан Республикасының Ұлттық статистика бюросы. Аймақтар және моноқалалар бойынша статистикалық деректер. -2026. URL: https://stat.gov.kz/region/. Қаралған күні: 12.01.2026.

15. Adilet.zan.kz. Қазақстан Республикасының өңірлік дамуының 2025-2030 жылдарға арналған тұжырымдамасын бекіту туралы: Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2025 жылғы 25 тамыздағы № 679 қаулысы. URL: https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2500000679. Қаралған күні: 12.01.2026.

16. Атырау облысы әкімдігі. Өңірдің әлеуметтік-экономикалық дамуы. -2024. URL: https://egemen.kz. Қаралған күні: 12.01.2026.

17. Жұмағұл Т.Т., Бимендиева Л.А., Шуренов Н.Б., Товма Н.А. Моноқалалардағы демографиялық тенденцияларды талдау мен мемлекеттік қолдау шаралары // «Тұран» университетінің хабаршысы» ғылыми журналы. -2023. -Т.2(98). -Б.248-258. DOI 10.46914/1562-2959-2023-1-2-248-258.

18. Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан. Официальный сайт. -2024. URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/emer/press/news/details/743515. Қаралған күні: 12.01.2026.

19. Lee H. S., Tovma N. A., Zobov A. M., Degtereva E.A. Development of strategy for the revival and modernization ofsingle-industry towns of Kazakhstan based on the construction of a regression model // Statistics, Accounting and Audit. -2024. -T.4(95). -P.52-65. DOI 10.51579/1563-2415.2024.-4.05.

20. Nurlanova N.K., Alzhanova F.G., Satpayeva Z.T. Sustainable Development of Cities: Rating Assessment Methodology and Risk Analysis (Using Kazakhstan as an Example)// Economy of Regions.

-2023. -Vol.19 (2). -P.343-354. DOI 10.17059/ekon.reg.2023-2-4.

21. Есберген Р. Қазақстан Республикасында шағын қалалардың даму перспективалары (Ақтөбе облысы Қандыағаш қаласы мысалында) //Мемлекеттік басқару және мемлекеттік қызмет. -2024. -Т.2(89). -Б. 151-160. DOI 10.52123/1994-2370-2024-1223.

22. Шуренов Н.Б., Товма Н.А., Сайымова М.Д. Хромтау моноқаласын дамытудағы аумақтық маркетинг мүмкіндіктері // Ұлттық экономика: даму бағыттары. -2023. - Т.3(150). -P.93-107. DOI 10.52821/2789-4401-2023-3-93-107

23. Салимбаева Р.А., Стамкулова К.У., Даулбаева А.Н., Сатбаева Г.С. Тұрақты даму мақсаттарына қол жеткізу контекстінде Қарағанды облысы моноқалаларының жай-күйін экологиялық-экономикалық бағалау // «Тұран» университетінің хабаршысы» ғылыми журналы. -2025. -Т.3(107). -P. 187-205. DOI 10.46914/1562-2959-2025-1-3-187-205.

References

1. Bole D., Mrdakovic M.S., Tiran J. From a mining town to a town of industrial multinationals: Explaining transformation through human agency and mining assets // The Extractive Industries and Society. -2023. -Vol.14: 101243. DOI 10.1016/j.exis.2023.101243.

2. Liu Y., et al. Using learned PSR model for planning under uncertainty // 23rd Canadian conference on Advances in Artificial Intelligence. -2010. -P.309-314. DOI 10.1007/978-3-642-13059-5_35.

3. Zhang Y., Shang K. Cloud model assessment of urban flood resilience based on PSR model and game theory // International Journal of Disaster Risk Reduction. -2023. -Vol.97: 104050. DOI 10.1016/j.ijdrr.2023.104050.

4. Jiao L., Wang L., Lu H., Fan Y., Zhang Y., Wu Y. An assessment model for urban resilience based on the pressure-state-response framework and BP-GA neural network // Urban Climate. -2023. -Vol.49: 101543. DOI 10.1016/j.uclim.2023.101543.

5. Lajshanov Sh., Sharaphanova Zh., Nұrmaғambetұly Zh. Kөktemgi su tasқyny kezindegi atyrau қalasy maңynyң su basu zhaғdajyna geografijalyқ taldau// QazҰU habarshysy. Geografija serijasy. -2025. -№.76(1). -B. 113-124. DOI 10.26577/JGEM20257619. [in Kazakh]

6. Mishchenko I.V., Mishchenko V.V. Socio-economic policy issues in single-industry towns in Kazakhstan as a basis for planning their development// Journal of Economic Research and Business Administration. -2023. -№. 3(145). -P.74–83. DOI 10.26577/be.2023.v145.i3.07.

7. World Bank. Climate risk country profile: Kazakhstan/World Bank. -2021. URL: https: //climateknowledgeportal.worldbank.org/sites/default/files/2021-06/15834-WB_Kazakhstan% 20Country%20Profile-WEB.pdf. Қаралған күні: 12.01.2026.

8. Қazaқstan Respublikasy Ykimeti.2025 zhylға dejingi өңirlik damudyң memlekettik bағdarlamasy. -2024. URL: https://zakon.uchet.kz/kaz/docs/U2100000521#z13. -Қaralған kүni: 12.01.2026. [in Kazakh]

9. Han-Sol L., et al. SME Growth and Economic Inefficiency Due to Environmental Pollution: The Case of SMEs in Monocities of Kazakhstan // R-Economy. -2025. -Vol.11 (2). -P.234-252. DOI 10.15826/recon.2025.11.2.012.

10. Dyussembekova Zh.M., et al. Analysis of labor market trends in single-industry towns in Kazakhstan// Central Asian Economic Review. -2023. -Vol.2(149). -P.44-56. DOI1 0.52821/2789-4401-2023-2-44-56.

11. Satybaldin A.A., Balyқbaeva A.Sh., Өmir A.S. ҚR monoқalalarynyң әleumettik-jekonomikalyқ damuy deңgejin bағalau: Zhaңatas zhәne Қaratau monoқalalarynyң mysalynda // Statistika, esep zhәne audit. -2024. -T. 2(93). -B.89-103. DOI 10.51579/1563-2415.2024.-2.07. [in Russian]

12. Nurlanova N. K. Monogoroda Kazahstana: metodicheskie osnovy ocenki sostojanija i napravlenija razvitija /Institut jekonomiki KN MON RK. -2014. -256 s. ISBN 6012150962, 9786012150964. [in Russian]

13. Қазақстан Respublikasy Tөtenshe zhағdajlar ministrligінің Tөtenshe zhағdajlar komiteti. Su tasқyny zhағdajy zhәne erte eskertu zhүjesinің esepteri. -2026. URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/emer/press/news/details/1214212?lang=kk. Қaralған kүni: 12.01.2026. [in Kazakh]

14. Қазақстан Respublikasynyң Ұlttyқ statistika bjurosy. Ajmaқtar zhәne monoқalalar bojynsha statistikalyқ derekter. -2026. URL: https://stat.gov.kz/region/. Қaralған kүni: 12.01.2026. [in Kazakh]

15. Adilet.zan.kz. Қазақстан Respublikasynyң өңirlik damuynyң 2025-2030 zhyldarға arnalған tұzhyrymdamasyn bekitu turaly: Қазақстан Respublikasy Ykimetiniң 2025 zhylғy 25 tamyzdағy № 679 қaulysy. URL: https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2500000679. Қaralған kүni: 12.01.2026. [in Kazakh]

16. Atyrau oblysy әkimdigi. Өңirdің әleumettik-jekonomikalyқ damuy. -2024. URL: https://egemen.kz/article/175133-atyrau-oblysynynh-akimi-onhirdinh-aleumettik-ekonomikalyq-damuy-turaly-bayandady. Қaralған kүni: 12.01.2026. [in Kazakh]

17. Zhұmaғұl T.T., Bimendieva L.A., Shurenov N.B., Tovma N.A. Monoқalalardағy demografijalyқ tendencijalardy taldau men memlekettik қoldau sharalary // «Tұran» universitetiniң habarshysy» ғylymi zhurnaly. -2023. -T.2(98). -B.248-258. DOI 10.46914/1562-2959-2023-1-2-248-258. [in Kazakh]

18. Ministerstvo po chrezvychajnym situacijam Respubliki Kazahstan. Oficial’ nyj sajt. -2024. URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/emer/press/news/details/743515. Қaralған kүni: 12.01.2026. [in Russian]

19. Lee H. S., Tovma N. A., Zobov A. M., Degtereva E.A. Development of strategy for the revival and modernization ofsingle-industry towns of Kazakhstan based on the construction of a regression model // Statistics, Accounting and Audit. -2024. -T.4(95). -P.52-65. DOI 10.51579/1563-2415.2024. -4.05.

20. Nurlanova N.K., Alzhanova F.G., Satpayeva Z.T. Sustainable Development of Cities: Rating Assessment Methodology and Risk Analysis (Using Kazakhstan as an Example)// Economy of Regions. -2023. -Vol.19 (2). -P.343-354. DOI 10.17059/ekon.reg.2023-2-4.

21. Esbergen R. Қazaқstan Respublikasynda shaғyn қalalardyң damu perspektivalary (Aқtөbe oblysy Қandyaғash қalasy mysalynda) //Memlekettik basқaru zhәne memlekettik қyzmet. -2024. -T.2(89). -B. 151-160. DOI 10.52123/1994-2370-2024-1223. [in Kazakh]

22. Shurenov N.B., Tovma N.A., Sajymova M.D. Hromtau monoқalasyn damytudағy aumaқtyқ marketing mүmkindikteri // Ұlttyқ jekonomika: damu baғyttary. -2023. - T.3(150). -P.93-107. DOI 10.52821/2789-4401-2023-3-93-107.[in Kazakh]

23. Salimbaeva R.A., Stamkulova K.U., Daulbaeva A.N., Satbaeva G.S. Tұraқty damu maқsattaryna қol zhetkizu kontekstinde Karaғandy oblysy monoқalalarynyң zhaj-kүjin jekologijalyқ-jekonomikalyқ baғalau // «Tұran» universitetiniң habarshysy» ғylymi zhurnaly. -2025. -T.3(107). -P.187-205. DOI 10.46914/1562-2959-2025-1-3-187-205. [in Kazakh]

Авторлар туралы ақпарат

Жиенбаев Ұ.Б. - докторант, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан, e-mail: uzhiyenbayev@zhubanov.edu.kz;

Дулат М. - PhD, профессор (доцент), Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: m.dulat@gmail.com;

Байтуова Л.Т. - PhD докторы, аға оқытушы, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Аста-

на, Қазақстан, e-mail: 1701.86@mail.ru;

Смагулова З.К.- э.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: smagulova1111@gmail.com.

Information about the authors

Zhienbayev U.B. - PhD student, K.Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan, e-mail: uzhiyenbayev@zhubanov.edu.kz;

Dulat M. - PhD, Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: m.dulat@gmail.com;

Baituova L.T. - PhD, Senior Lecturer, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, e-mail: 1701.86@mail.ru;

Smagulova Z.K.- Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Astana International University, Astana, Kazakhstan, e-mail: smagulova1111@gmail.com.

ҒТАМР 06.77.02 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1469**

ҚР ЭКОНОМИКАСЫН БІЛІКТІ ЖҰМЫСШЫ КАДРЛАРМЕН ҚАМТУДА ТЕХНИКАЛЫҚ ЖӘНЕ КӘСІПТІК БІЛІМ БЕРУ ЖҮЙЕСІН ДАМЫТУ

[1]А.А. Өмірғазынов, [2]Д.М. Кангалакова, [3]Б.М. Баядилова, [3]А.З. Нурпейсова, [4]А.С. Саржанова

[1]Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]ҚР Білім және ғылым министрлігі Ғылым комитетінің РМҚК «Экономика институты», Алматы, Қазақстан,
[3]Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[4]«Turan-Astana» University, Астана, Қазақстан

Корреспондент-автор: asem_nz@mail.ru

Мақаланың мақсаты - еліміздің экономикасын дамыту барысында техникалық және кәсіптік білім беру жүйесін жетілдіру арқылы еңбек нарығының қажеттіліктеріне сай білікті жұмысшы кадрларды даярлауды қамтамасыз ету жолдарын айқындау. Білікті кадрлармен жұмыс қазіргі таңа экономикада маңыздылыққа ие, өйткені өркендеу барысында инновациялық шешімдерді білікті мамандардың дұрыс қабылдауы бірнеше салаларды озық жетілдіріп, өзгерістер енгізе алады.

Зерттеу барысында талдау және салыстыру әдістері қолданылып, аймақтардағы техникалық және кәсіптік білім беру жүйесінің даму ерекшеліктері мен негізгі бағыттары айқындалды.

Зерттеудегі тұжырымдар Қазақстан Республикасында техникалық және кәсіптік білім беру жүйесін дамытудың экономиканы білікті жұмысшы кадрлармен қамтамасыз етудегі рөлін бағалауға, маңыздылығын арттыруға бағытталған. Еңбек нарығындағы сұраныс пен ұсыныс арасындағы теңгерімсіздік аймақтық және салалық тұрғыда статистикалық талдау арқылы анықталды. Экономиканың нақты секторлары үшін, әлеуметтік бағыттар бойынша жұмысшы мамандықтар даярлаудың өзектілігі негізделіп айқындалады.

Зерттеу нәтижелері аймақтардың экономикалық құрылымы мен өндірістік мамандануына байланысты жұмысшы кадрларға деген қажеттіліктің әркелкі екенін көрсетті. Осыған байланысты техникалық және кәсіптік білім беруді дамытуда бірыңғай тәсілдерді емес, еңбек әлеуетінің интеллектуалды деңгейін арттыруға ықпал ететін факторларды енгізу қажеттілігі негізделді. Авторлар техникалық және кәсіптік білім беру жүйесін дамыту Қазақстан Республикасының тұрақты әлеуметтік-экономикалық дамуын қамтамасыз етудің маңызды факторы болып табылатынын дәлелдейді.

Түйін сөздер: техникалық және кәсіптік білім беру, экономика, кадр тапшылығы, бәсекеге қабілеттілік, инновация, цифрландыру, еңбек нарығы, технология.

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭКОНОМИКИ РК КВАЛИФИЦИРОВАННЫМИ РАБОЧИМИ КАДРАМИ

[1]А.А. Өмірғазынов, [2]Д.М. Кангалакова, [3]Б.М. Баядилова, [3]А.З. Нурпейсова, [4]А.С. Саржанова

[1]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
[2]РГКП «Институт экономики» Комитета науки Министерства образования и науки РК, Астана, Казахстан,
[3] Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
[4]«Turan-Astana» University, Астана, Қазақстан,
e-mail: asem_nz@mail.ru

Цель статьи-определить пути обеспечения подготовки квалифицированных рабочих кадров, отвечающих потребностям рынка труда, путем совершенствования системы технического и профессионального образования в ходе развития экономики страны. Работа с квалифицированными кадрами имеет важное значение в современной экономике, так как в процессе процветания правиль-

ное принятие инновационных решений квалифицированными специалистами может продвинуть и внести изменения в несколько отраслей.

В ходе исследования были использованы методы анализа и сравнения, определены особенности и основные направления развития системы технического и профессионального образования в регионах.

Выводы исследования направлены на оценку роли, повышение значимости развития системы технического и профессионального образования в Республике Казахстан в обеспечении экономики квалифицированными рабочими кадрами. Дисбаланс между спросом и предложением на рынке труда выявлен статистическим анализом в региональном и отраслевом разрезах. Обоснованно определяется актуальность подготовки рабочих специальностей для конкретных секторов экономики.

Результаты исследования показали, что потребность в рабочих кадрах в зависимости от экономической структуры и производственной специализации регионов неоднородна. В этой связи обоснована необходимость внедрения не единых подходов в развитии технического и профессионального образования, а факторов, способствующих повышению интеллектуального уровня трудового потенциала. Авторы доказывают, что развитие системы технического и профессионального образования является важным фактором обеспечения устойчивого социально-экономического развития Республики Казахстан.

Ключевые слова: техническое и профессиональное образование, экономика, дефицит кадров, конкурентоспособность, инновации, цифровизация, рынок труда, технологии.

DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF TECHNICAL AND VOCATIONAL EDUCATION IN PROVIDING THE ECONOMY OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN WITH QUALIFIED WORKING PERSONNEL

[1]A. Omirgazynov, [2]D. Kangalakova, [3]B. Bayadilova, [3]A. Nurpeisova✉, [4]A. Sarzhanova

[1]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
[2]«Institute of Economics» RSE under the Committee of Science of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan,
[3]K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
[4]«Turan-Astana» University, Astana, Kazakhstan,
e-mail: asem_nz@mail.ru

The purpose of the article is to identify effective ways to ensure the training of qualified workers who meet labor market needs through the development of the technical and vocational education system in the context of economic growth of the Republic of Kazakhstan. The study emphasizes the importance of skilled personnel for modern economic development, since qualified specialists play a key role in the adoption and implementation of innovative solutions across industries.

The research is based on methods of analysis and comparison, which made it possible to determine the main features and directions of the development of technical and vocational education in the regions. Statistical analysis revealed an imbalance between labor supply and demand in regional and sectoral terms, as well as differences in workforce needs depending on economic structure and industrial specialization. The relevance of training working professions for specific sectors of the economy is substantiated.

The results show that uniform approaches to the development of technical and vocational education are ineffective, and that regional and sectoral factors should be taken into account. The authors conclude that improving the vocational education system and increasing the intellectual level of labor potential are essential conditions for providing the economy with qualified workers.

Keywords: technical and vocational education, economics, shortage of personnel, competitiveness,

innovation, digitalization, labor market, technology.

Кіріспе. Техникалық және кәсіптік білім беруді дамытудың негізгі бағыты ел экономикасын білікті жұмысшы кадрлармен қамтамасыз ету болып табылады. Экономиканың тұрақты дамуы мен бәсекеге қабілеттілігі адами капиталдың сапасына, әсіресе жұмысшы мамандардың кәсіби даярлық деңгейіне тікелей байланысты. Мемлекет басшысы Қасым-Жомарт Тоқаевтың Жолдауында білікті жұмысшы кадрларға деген сұраныстың артып отырғаны және жұмысшы мамандықтарының маңыздылығы, сондықтан 2025 жылды «Жұмысшы мамандықтары жылы» деп жариялағанын, жыл сайын мыңдаған инженер, құрылысшы және ауыл шаруашылығы маманы оқуын бітіріп шығатынын ерекше атап өтті [1].

Қазіргі кезеңде цифрландыру мен технологиялық жаңару еңбек нарығына жаңа талаптар қояды. Экономиканы жаңғырту информатика, биотехнология, баламалы энергетика және өндірістік салалар бойынша жоғары білікті мамандарды қажет етеді. Алайда, егер бұл үдерістер тиісті деңгейде реттелмесе, еңбек нарығындағы сұраныс пен жұмысшы кадрлардың кәсіби біліктілік құрамы арасындағы теңгерімсіздік арта түседі [2].

Қазақстанда еңбек нарығының құрылымы мен экономиканың нақты секторындағы қажеттіліктер арасында сәйкессіздік байқалады. Жұмыс берушілер техникалық және қызмет көрсету бағыттарында білікті мамандар тапшылығы бар екенін атап өтуде. COVID-19 пандемиясы бұл мәселелерді одан әрі ушықтырып, техникалық бейіндегі кадрларды даярлау өзектілігін күшейткенін білеміз [3]. Осыған байланысты техникалық және кәсіптік білім беру жүйесін еңбек нарығының талаптарына сәйкестендіріп бейімдеу және оны жетілдіру ұлттық экономиканың тұрақты дамуын қамтамасыз етудің маңызды шарты болып табылады. Білікті жұмысшы кадрлармен қамту және білікті жұмысшы кадрлардың беделін бәсекеге қабілеттіліктің маңызды бөлігіне айналдыру нәтижелері ғылыми жаңалыққа ие болады.

Практикалық маңыздылығы ретінде фрагменттелген бастамалық дағдыларды басқару, оқу жоспарларын жаңартулар мен жобалық оқытуларды кеңейтуді айтуға болады. Білікті жұмысшы кадрларын дайындау бойынша кәсіптік білім беруде жоғарғы оқу орындарының оқу үрдісіне аталған кеңейтулерді енгізу керек. Дуальды оқытуды жақсарту мен индикаторларды жүйелеп, еңбек нарығындағы онлайн платформаларды жетілдіреміз.

Материалдар мен әдістер. Әдебиеттерге шолуда экономиканы білікті жұмысшы кадрларымен қамтамасыз ету экономиканың тұрақтылығын негіздеуге, инновацияларды барынша дамытуға ықпалы бар маңызды санаттың бірі екенін көруге болады.

Б.А. Жанкубаев пен Д.Н. Шумеков өз еңбектерінде еңбек нарығын сегментациялау мәселелерін қарастырып, жұмыс күшінің біліктілік деңгейіне деген сұраныстың икемділігіне ерекше назар аударады. Авторлар еңбек нарығының циклдік сипатын талдай отырып, оны «біліктілік» өлшемі негізінде сегментациялау қағидатын ұсынады. Сонымен қатар, зерттеу барысында азық-түлік тауарларына деген сұраныс өзгерістерінің жұмыс күшіне деген сұраныс динамикасына ықпалы анықталады [4].

Г.К. Нургалиева дуальды оқыту, кәсіби білім беру және білім мен өндіріс интеграциясын талдап [5], А.Е. Бейсенова еңбек нарығының аймақтық ерекшеліктерін зерттеген. Ал Н.К. Мамыров әлеуметтік-экономикалық даму мен кадр даярлау мәселелерін айқындаған [6].

Ресей зерттеушілері Е.А. Полушкина мен Г.А. Краснованың зерттеулері Қазақстандағы атаулы реформа білім беру сапасын арттыруға және оның еңбек нарығының талаптарына сәйкестігіне бағытталған заңнамалық, ұйымдастырушылық және мазмұнды өзгерістерді қамтитынын атап өтеді [7].

Қазақстанда болашақта экономика салаларына қажетті мамандарды даярлау және олардың өндірістік ресурстарға қол жеткізуін қамтамасыз ету өзекті мәселе болып отыр. Қазіргі уақыт-

та өндіріс пен қызмет көрсету секторларында кадр тапшылығы мен кәсіби дағдылардың жеткіліксіздігі экономикалық тиімділікті төмендету қаупін тудырады. Сол себепті білікті мамандарды даярлау және оларды еңбек нарығына тиімді енгізу маңызды болып табылады. Техникалық және кәсіптік білім беру жүйесі осы міндетті шешудің негізгі құралы болып табылады. Кәсіби колледждер мен техникалық оқу орындары өндіріс, қызмет көрсету, құрылыс және басқа салаларға қажетті кәсіби дағдылар мен біліктілікті меңгерген мамандарды даярлап, экономиканың кадрлық әлеуетін нығайтады және еңбек өнімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Зерттеу әдістері. Қазіргі заманда еңбек нарығында бәсекеге қабілетті болу үшін қазақстандық мамандар үнемі өз дағдылары мен кәсіби қабілеттерін жетілдіріп отыруы тиіс. Hard skills, яғни кәсіби дағдылар, жұмыс жасайтын ұйымның ерекшеліктеріне немесе корпоративтік мәдениетке қарамастан бірдей деңгейде талап етіледі. Ал soft skills, яғни жеке тұлғаның қасиеттері, керісінше, жағдайға байланысты өзгеріп отыратын және бейімделуді қажет ететін дағдылар болып табылады. Hard skills-ті әртүрлі білім беру мекемелерінде меңгеруге болады, ал soft skills-ті игерудің нақты қадамдық нұсқаулығы жоқ: адам бұл қасиеттерге бастапқыда ие болуы мүмкін немесе тәжірибе арқылы оларды дамытады [8].

Қойылған мақсаттарға қол жеткізу, әлемдік білім беру кеңістігіне кірігу және түлектердің еңбек нарығында бәсекеге қабілеттілігін қамтамасыз ету мақсатында Қазақстан Республикасы ТМД елдері арасында бірінші болып Болон конвенциясына қосылды. Қазақстанның болашағы мен экономикалық дамуы жоғары білімді инженерлердің еңбек нарығындағы бәсекеге қабілеттілігіне тікелей байланысты екенін ескерсек, Болон конвенциясы бұл мәселені шешудің маңызды факторы болып табылады. Ол жеке тұлғаның кәсіби дайындығын күшейтуге және оның нарықтық қатынастарға әлеуметтік бейімделуіне мүмкіндік береді. Сонымен қатар, Болон Конвенциясының Кредиттік оқыту жүйесі білім беру стандартына сәйкес сапалы мамандарды даярлауға бағытталған [9].

Мемлекеттік деңгейде жоғары оқу орындарының білім беру және ғылыми-зерттеу қызметіне қатысты заңнамалық және нормативтік-әдістемелік құжаттарға өзгерістер енгізіліп, бұл экономикалық білім беру саласын жаңғыртуға және қолданбалы зерттеулерді дамытуды қолдауға мүмкіндік береді.

Сонымен бірге, экономикалық бағыттағы бағдарламаларды кеңейту, ғылыми базаны нығайту, деректерді талдау, басқару, қаржылық модельдеу және цифрлық экономиканың заманауи әдістерін енгізудің қажеттігі көрсетілді. Жүйелік кешенді тәсілдер мен құрылымдау, сараптамалық -талдау әдістері қолданылған.2025 жылға арналған кәсіпкерлікті дамытудың «Мықты өңірлер – ел дамуының драйвері» ұлттық жобасы мен ғылыми мақалалар қаралды.

Жоғары экономикалық білімге ие мамандарды даярлаудың озық әдістерін қамтамасыз ету үшін ғылымды, білім беруді және бизнесті интеграциялау, оқу процесіне инновацияларды енгізу, сондай-ақ қазіргі экономикалық кеңістікте қажет тәжірибеге бағдарланған құзыреттерді дамытуға бағытталған жаңа тәсілдерді қолдану маңызды болып отыр.

Нәтижелер және талқылау. Қазақстан экономикасымен еңбек нарығының қажеттіліктерімен байланысы көбінесе мынадай салаларды қамтиды: ауыл шаруашылығы, тау-кен өнеркәсібі, көлік және логистика, сауда, құрылыс пен инфрақұрылымдық жобалар. Аталған салалар көптеген білікті жұмысшы мамандықтарын аса керек етеді. Сонымен қатар, экономикалық білім беру мекемелерін де қамтитын Қазақстандағы жоғары оқу орындарының бәсекеге қабілеттілігін арттыру мақсатында «Білімді ұлт: сапалы білім беру» ұлттық жобасы іске асырылуда. Ел Президенті Қасым-Жомарт Тоқаев экономикалық өсімге, еңбек өнімділігін арттыруға және жаңа салаларды дамытуға қабілетті мамандарды даярлаудың маңыздылығын үнемі атап өтеді.

Дамыған елдердің тәжірибесі көрсеткендей, білім беру жүйесін жаңғырту және білім беру қызметтерінің сапасын арттыруда шешуші рөл адами капиталға жасалатын инвестицияға тиесілі. Ерте кезеңде адам әлеуетін дамытуға жұм-

салған қаржы мемлекетке ұзақ мерзімді перспективада жоғары табыс пен экономикалық тиімділікті қамтамасыз етеді. Адами капиталға инвестициялар айтарлықтай жоғары тиімділікпен сипатталады. Шетел тәжірибесін алатын болсақ, Жапонияда бітірушілер мамандық бойынша жеті жыл қызметтерін жасап, техникалық мамандық бойынша өтемін жүргізу керек. Құрылған тексерушілер шешімі арқылы ары қарай расталады. Ал Қазақстанда мұндай міндетті талап қарастырылмаған.

Экономиканың инновациялық дамуына көшу экономикалық бағыттағы жоғары оқу орындары алдында жаңа міндеттер қойғаны белгілі, ел аймақтарында талдамалық және инновациялық белсенділік орталықтарын қалыптастыру және тұрақты, бәсекеге қабілетті экономиканы дамытуға негізгі қатысушы ретінде қызмет ету.

Қазіргі таңда Қазақстанда индустриялық-инновациялық экономиканы дамытудағы басты міндеттердің бірі ретінде елімізді әлемнің жетекші экономикаларының қатарында көрсету мақсатында жоғары технологиялық өндірісті жетілдіруді маңызды деп отырмыз. Алайда бұл мақсатқа тек техникалық қайта жарақтандыру мен шағын инновациялық шешімдер арқылы жету мүмкін емес; сонымен қатар білікті кадрларды даярлау мәселесіне де ерекше көңіл бөлінуі қажет [10].

Қазіргі Қазақстан жағдайында бәсекеге қабілеттіліктің өсуіне және еңбек әлеуетінің интеллектуалды деңгейін арттыруға ықпал ететін негізгі факторлар мыналар болып табылады (Сурет 1):



1-сурет. Еңбек әлеуетінің интеллектуалды деңгейін арттыруға ықпал ететін факторлар
Ескерту: авторлармен жасалды

Көрсетілген факторлардың ықпалы еңбек әлеуетінің алғышарты ретінде әрекет етеді.

Осы тұрғыда Қазақстан үшін стратегиялық маңызды бағыт - білім беру саласына инвестицияларды ұлғайту болып табылады. Білім беру жүйесін реформалау тиімділігі мен прогрессивті стратегияларды іске асыру сыртқы және ішкі факторлар жиынтығына байланысты анықталады. Бұған елдің әлеуметтік-экономикалық даму деңгейі, демографиялық ерекшеліктері, мәдени және саяси жағдайлары, сондай-ақ білім беру саясатына жаңа әлеуметтік басымдықтарды енгізу қажеттігі әсер етеді [11].

Сондықтан да білім беру саласына мемлекеттік қолдауды көбейтіп, инвестицияларды ұлғайту керек.

Цифрлық технологиялардың жұмыспен қамту жағдайына деген әсері өте жоғары. Осыған байланысты бағалау бағыттарын бөліп көрсетуге болады: алдымен экономикалық бағалауды талдаймыз, оның позитивті әсері жаңа салалар мен кәсіптердің пайда болуы, негативті әсері еңбек нарығындағы теңсіздік жоғарылауы мүмкін. Әлеуметтік бағалауда қашықтан жұмыс жасау мүмкін болады, теріс бағытта жұмыссыздық қаупі болады. Технологиялық бағалауда қауіпсіздік позитивті, жұмыс орындарының технологияға тәуелділігі теріс бағытта болады. Еңбек

дағдылары тұрғысынан бағалауда цифрлық сауаттылық пен адами қарым-қатынастар дағдылары оң бағытты, автоматтандыруға оңай келетін жұмыстар мен қайталанатын тапсырмалар теріс бағытты көрсетеді. Ал Аймақтық салалық бағалауда қаржы, логистика АТ бойынша цифрлық рөлдердің маңызы артады, жұмыс орындары көбейеді. Техникалық қызметкерлерге деген сұраныс артады, білім беру мен медицинада технологияны толықтыратын модель қалыптасады деуге болады: адам + технология. Білім беру бағытында ғылым мен инновация бағыты маңызды болып табылады. Жалпы университтер PhD және ғылыми зерттеулерді ілгерілету бойынша аймақтық инновация деңгейін жоғары көтере алады. Экономикалық зерттеулерден байқағанымыздай, ғылыми тұрғыдағы бағдарламалар мен зерттеу жұмыстары аймақтық инновация белсенділігімен оң бағытты көрсетеді, инновациялық ұйымдардың санын арттырады. Ол дегеніміз экономикалық өсу бағытының жаңашыл драйверін қалыптастырады, себебі инновациялар жаңа бизнес, өнімдер мен қызметтер жол ашары. Елімізде 2024-2025 оқу жылында мөлшермен 122 жоғары оқу орындары қызмет етеді. Олардың көбісі экономикалық мамандықтарды даярлайды.

Қазіргі кезеңде мемлекет тарапынан техникалық және кәсіптік білім беру жүйесін дамытуға бағытталған бірқатар ұлттық жобалар іске асырылуда. Атап айтқанда, «Жайлы мектеп», «Білімді ұлт», «Жас маман» сияқты бағдарламалар ТжКБ саласының институционалдық және материалдық негізін нығайтуға ықпал етуде. Соның нәтижесінде колледждердің материалдық-техникалық базасы кезеңкезеңімен жаңартылып, оқу процесіне заманауи жабдықтар енгізілуде. Сонымен қатар, дуальды оқыту элементтерінің енгізілуі теориялық білім мен өндірістік тәжірибені ұштастыруға мүмкіндік беріп, білім алушылардың практикалық даярлық деңгейін арттыруға жағдай жасауда. Осы өзгерістер аясында жұмысшы мамандықтарына деген қызығушылықтың біртіндеп арта бастағаны байқалады.

Алайда, ТжКБ жүйесінің дамуында бірқатар жүйелік мәселелер де сақталуда. Атап айтқанда, еңбек нарығының нақты сұраныстарына сәйкес мамандықтар тізбесі мен оқу бағдарламаларының жеткілікті деңгейде жаңартылмауы байқалады. Өндіріс пен білім беру ұйымдары арасындағы кері байланыстың әлсіздігі кадр даярлау сапасына кері әсерін тигізуде. Сонымен қатар, кейбір өңірлерде колледж түлектерінің жұмысқа орналасу деңгейі 60 пайыздан төмен болып отыр. ТжКБ мамандықтарының әлеуметтік беделі әлі де төмен деңгейде қалып, жастардың басым бөлігі жоғары білім алуға ұмтылады. Бұдан бөлек, аймақтық еңбек нарығының ерекшеліктері ескерілмей, кадр даярлау үдерісінің шамадан тыс орталықтандырылған сипаты байқалады.

ТжКБ жүйесінің тиімділігін арттыру үшін саланы қаржыландыру тетіктерін жетілдіру қажет. Мемлекеттік білім беру тапсырысын еңбек нарығының орта және ұзақ мерзімді болжамдарына негіздей отырып бөлу кадр даярлаудың экономикалық тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, түлектердің жұмысқа орналасу көрсеткіштері мен кәсіби табыстылығына негізделген құзыреттілікке бағытталған қаржыландыру моделін енгізу өзекті болып табылады.

Жеке сектордың қатысуын кеңейту де маңызды бағыттардың бірі саналады. Бұл тұрғыда кәсіпорындармен мемлекеттік-жекеменшік әріптестік жобаларын дамыту, сондай-ақ жұмыс берушілердің өз қаражаты есебінен дуальды оқыту бағдарламаларына қатысуын ынталандыру ТжКБ жүйесінің практикаға бағытталуын күшейтеді.

Осы зерттеулер бойынша басымдық бағыттарын талдайтын болсақ төмендегі 1 – ші кесте деректерін қарастырамыз.

Кестеден көріп отырғанымыздай, экономикада бәсекеге қабілеттілікті арттыру үшін, еңбек нарығының болжамды моделін жасау керек, сонымен қатар жұмыс берушілерді оқу үрдісіне мейлінше көбірек тарту керек. Қоғамдық санада да жұмысшы мамандығының мәртебесін арттыру керек.4.0 индустриясына сәйкес мамандар даярлау қажет. Елімізде 2024-2025 оқу жылдарына

мемлекеттік білім беру тапсырысы 17000 орынды құраған. Өте жақсы көрсеткіш деуге болады. WorldSkills стандарттары бойынша Алматы қаласында 12 орталық жұмыс жасауда.

Қазақстан экономикасының құрылымы түбегейлі индустрияландыру, цифрландыру және «Жасыл экономика» бағыттарында басымдыққа ие.Олар еңбек нарығына жаңашыл талаптар қоюда: елімізге теориялық білімнен қарағанда тәжірибелік, техникалық және қызмет көрсету салаларында білікті мамандар аса қажет. Осыған байланысты 2015-2024 жылдардағы жағдайларды талдауды төмендегі 2 - ші кестеде көрсетеміз.

1-кесте. Жетілдірудің экономикалық және институционалдық бағыттары

Басымдық бағыттары	**Мақсаттары**	**Нәтижелері**
Еңбек нарығымен үйлестірулер	Экономиканың сұранысына байланысты кадрларды дайындау	Жұмыссыздық азаяды, өнімділік артады
ТжКБ имиджін қалыптастыру	Жас буынды жұмысшы мамандықтарына тарту	Бәсекеге қабілетті техникалық кадрлар
Қаржыландырудың тиімділігі	Нәтижелерге бағытталатын модель жасау	Сұранысқа ие сапалы білім беру
Цифрландыру және ииновациялар	Білімнің сапасына қатты мән беру	Индустрия 4.0 талаптарына сай мамандар (WorldSkills-12)
Ескерту: Авторлармен құрастырылды		

2-кесте. 2015-2024 жылдардағы экономикалық жағдайды талдау

Көрсеткіштер	**2015 жыл**	**2024 жыл**	**Өзгерістер, %**
ТжКБ ұйымдарының саны	807	801	-0,7
Білімгерлер саны	489 мың	517 мың	+5,7
Жұмысқа орналасу үлесі	68%	63%	-5
Еңбек нарығында кадр тапшылығы (техникалық салалар)	25-30%	35-40%	+10
Дерек көзі: [12] дерек көзі бойынша жасалды			

Көріп отырғанымыздай, техникалық мамандықтар бойынша еңбек нарығында тұрақты кадр тапшылығы байқалуда, бұл атаулы жүйенің қазіргі еңбек сұранысына толық сай еместігін көрсетеді.2024 жылы білімгерлер саны 517 мыңға артқан, жұмысқа орналасу үлесі 63 пайызға тең, кадр тапшылығы 40 пайызға дейінгі мөлшерді көрсетеді.2025 жылы қатынасты көрсететін бәсекелестік индексі 3,9 пайызды құраған. Жалпы 2025 жылдың жаңа тренді еңбек нарығында құрылымдық серпінді жақсарту болып табылады.

Зерттеуімізше негізгі себептер мыналарға байланысты болады:

1. Мамандықтар тізбесі мен оқу бағдарламаларының еңбек нарығының нақты сұранысына сәйкес келмеуі;

2. Өндіріс саласы мен колледждер арасын-

дағы тиімді серіктестіктің жеткіліксіздігі;

3. ТжКБ саласының әлеуметтік және кәсіби беделінің төмендігі, жастардың көбінің жоғары білім алуға ұмтылуы;

4. Оқыту мазмұнының қазіргі технологиялық талаптар мен инновациялық шешімдерден артта қалуы

Осындай бағыттарды дамыту үшін төмендегідей шараларды жүзеге асыру керек (кесте 3).

3-Кесте. ТжКБ саласына еңбек нарығына қатысты дамыту көрсеткіштерін талдау

	Бағыттары	Негізгі шаралар	Күтілетін нәтижелер	Соңғы сандық деректер
1	Еңбек нарығына бейімделу	Аймақтар бойынша кадр балансын есептеу	Артық және жетіспейтін мамандықтарды саралау	2030 жылға дейін жалпы еңбек ресурсына сұраныстар 1.6 млн адам, яғни оның 900 мыңға жуығы – техникалық және кәсіптік білім алған мамандар қажет болады.
2	Дуальды білім беру	Өндірістік тәлімгер жүйесі	Түлектердің жұмысқа дайын болуы	Қазақстанда 410 колледж 518 кәсіпорынмен ынтымақтастықта, яғни дуальды оқытуда 91 мың студент қамтылған. Түлектердің жұмысқа орналасуы 79% деңгейінде
3	Қаржыландыру	Қаржыландыруды аймақтық сұраныспен байланыстыру	Сапалы мамандар даярлау	Колледждердегі мемлекеттік тапсырыстар көлемі артуда: жаңа оқу жылында 145 мың оқу орны қарастырылған (12 мың орынға артық).
4	Цифрлық трансформация	Smart-колледждер, онлайн симуляторлар	Индустрия 4.0 мамандары	Еңбек министрлігі инновациялық платформалар арқылы 755 инвестициялық жобаны қамтып, 150 мың жұмыс орнын жоспарлап отыр, бұл білім беру мен еңбек сұранысын цифрлық картаға түсіруді қамтамасыз етеді.
5	Мамандық беделін арттыру	Ақпараттық науқандар, жаңа жобаларды кеңейту	Қоғамда жұмысшы мамандығына оң көзқарас қалыптастыру	ТжКБ түлектерінің еңбек нарығына қатысуы артып келеді, дәлелі жұмысқа орналасу деңгейі 79%-ға жетті.
Ескерту: Авторлармен құрастырылды				

Кестеден көріп отырғанымыздай, соңғы басты даму бағыттары цифрлық трансформация бойынша Smart-колледждер мен онлайн платформаларды енгізу білімгерлердің практикалық дағдыларын арттырып, индустрия 4.0 талаптарына сәйкес мамандар даярлауға мүмкіндік береді. Бұл жерде 755 инвестициялық жобалар қамтылған, жоғарыда айтылған практикалық ұсыныстардың орындалғанының көрінісі деуге болады. Мамандықтың беделін арттыру бойынша жұмысқа орналасу деңгейінің 79 пайызға артқанын көруге болады.

Мамандық беделін арттыру бойынша «WorldSkills Kazakhstan» жобасы мен ақпараттық науқандар жұмысшы мамандықтарының қоғамдағы бағасын көтеріп, жастардың ТжКБ жүйесіне қызығушылығын арттырады.

Кестедегі бағыттар бір-бірімен тығыз байланысты және ТжКБ жүйесінің негізгі мәселелерін шешуге бағытталған. Бұл шаралар үйлестірілген жағдайда кадр даярлау сапасы жақса-

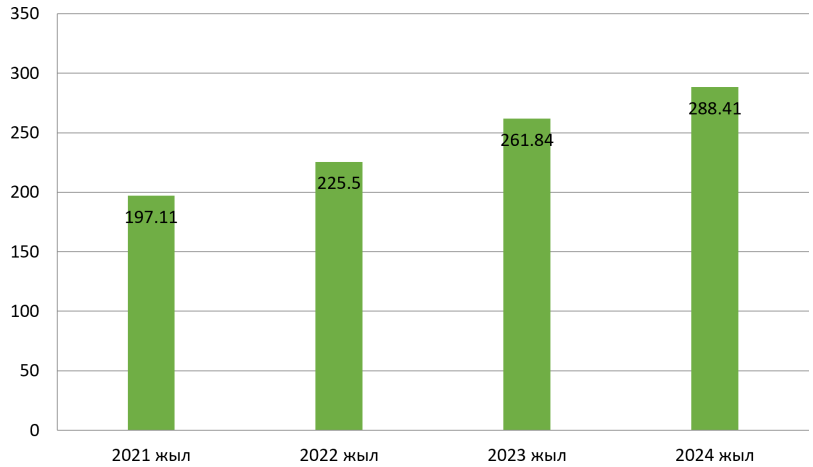
рып, түлектердің жұмысқа орналасу көрсеткіші өседі, сонымен қатар кадр тапшылығы азаяды.

Елімізде техникалық және кәсіптік білім беру жүйесін дамытудағы стратегиялық мақсатты қоғамның талаптары мен индустриялдық – инновациялық даму және әлемдік білім кеңістігінің интеграциясымен байланыстыру керек [13].

Тағы бір елеулі мәселе ретінде мүмкіндіктері шектеулі жұмысқа жарамды мамандар немесе ерлер жұмысы деп ойлайтын әйел адамдар жасай алатын жұмыстар туралы айтуға болады. Оларды бірдей немесе ұқсас бағыттағы бағдарламаларға жас маман ретінде жиі қатыстыру керек деп есептейміз, бұл олардың әлеуметтік ерекшеліктерімен және бейімделу мүмкіндіктерін жақсартумен байланысты болады. Мысалы, ерекше білім беру қажеттіліктері бар білім алушылар, сондай-ақ ерлер үлесі басым кәсіби салаларда даярлықтан өтетін әйел-стажерлер дискриминациялық тәжірибелерге, әлеуметтік оқшаулануға және тең емес қарым-қатынас жағдайларына жиі тап болған. Техникалық және кәсіптік білім беруге қатысты қоғамда қалыптасқан жағымсыз әлеуметтік ұстанымдар жағдайында ТжКБ жүйесіне қатысу жастардың мәдени, әлеуметтік және экономикалық капиталын қалыптастыру мүмкіндіктерін едәуір шектегені байқалады [14].

Негізінде әйел стажерлермен біліктілікті арттыру курстарын ашып, техникалық және кәсіптік білім беруді нығайтып, әйел кәсіпкерлігін қолдайтын болсақ, жаңа жұмыс орындарын ашып, кедейлік деңгейін барынша азайтатын едік. Өйткені қазіргі кезде кәсіпкер әйел азаматшалары экономиканың белсінді деген мықты бөліктерін құрап отыр десек артық айтпаған болар едік. Олардың алдарында тұрған кедергілер аз емес, әйтсе де сол кедергілерді мемлекет тарапынан берілетін қолдаулар арқылы шешуге болады.

Қазақстанда цифрлық экономиканы дамыту әйелдердің кәсіпкерлік белсенділігімен қатар жүреді, цифрлық технологиялар кәсіпті жеңілдетіп, нарыққа шығуға мүмкіндік береді. Отандық бизнеске әйелдердің белсенділігі елу пайызды құрайды, бұл еліміздің жалпы ішкі өнімінің қалыптасуына 40 пайыз үлес қосады дегенді білдіреді [15]. Осы деректерге сүйене отырып, 2021-2024 жылдар аралығындағы отандық ішкі өнім көрсеткіштерін талдаймыз (Сурет 2).



2-Сурет. Қазақстанның жалпы ішкі өнімінің жылдық көрсеткіштері, млрд. доллар

Ескерту [15] дерек бойынша құрастырылды

Суреттен көріп отырғанымыздай ЖІӨ 2023 жылы 261 млрд доллардан асса, 2024 жылы алдыңғы жылмен салыстырғанда 10 пайызға артқанын көре аламыз. Зерттелген деректерден 2025 жылы нақты өсімнің 6,5 пайызға артқанын біле аламыз.

Қазіргі таңда елімізде кәсіптік, техникалық білім беру жүйесі бойынша 772 колледж жұмыс жасайтынын білеміз. Мұндағы мемлекеттік тапсырыс көлемі 150 мыңға жуық орынды құрайды. Ең бастысы білімгерлердің тәжірибелік дағдыларын қалыптастыру, дуальды оқыту жүйесін жандандыру болып табылады. Ол үшін бизнестік бағыттар мен инвесторларды барынша тарту ұсынылады. Шетелдік білім беру кешендерімен серіктестікті нығайту да тәжірибелік тұрғыда оң нәтиже береді. Ұлттық стандарттар жүйелерін талдау мен оңтайландыру толықтай енгізіледі [16].

Осылайша кәсіпкерліктің көптеген бөлігін құрап отырған әйел кәсіпкерлерді мемлекет тарапынан қорғау ұсынылады. Осыған байланысты техникалық және кәсіптік білім беру саласындағы бағдарламалардың күрделі және көп өлшемді сипатын ескере отырып, аталған шолуда жекелеген іс-шараларды салыстырмалы талдаудан гөрі, білім алушылардың оқу үдерісіндегі тәжірибесін жан-жақты әрі кешенді түрде талдауға басымдық берілді.

Қорытынды. Қазіргі кезеңде техникалық және кәсіптік білім беру жүйесінің дамуы кәсіпкерлік сектордың нақты қажеттіліктерін ескере отырып, нарыққа бейімделуге және өндіріс процесіне инновациялық технологияларды енгізу әлеуетін арттыруға мүмкіндік береді. Ел басшысының демеуімен бастау алған жұмысшы мамандықтарының жылы бірнеше шараларды дұрыс және тиімді ұйымдастыру керек. Ашылған Ұлттық құзыреттілік орталығымен жұмыстарды барынша оңтайландыру қажет.

Ұсыныстар бойынша мемлекеттік тапсырысты еңбек нарығының болжамдарына сәйкес жаңарту, дуальды оқытуды 60%-ға дейін кеңейту, тәуелсіз ұлттық сертификаттау жүйесін енгізу және білім беру кластерлерін құру ұсынылады.

Зерттеу нәтижелерін практикалық тұрғыда қолдану бағыттары:

- мемлекеттік деңгейде: экономиканың нақты секторында стандарттарға қатаң сай болатын білім беру бағдарламаларын өзектілендіру, білім беру үрдістерін цифрландыру, жасыл экономика қағидасын интеграциялау;

- кәсіпкерлікке қолдау тетіктері деңгейінде: дуальды білім беру бағдарламаларын масштабтау, құзіреттілікті айқындау орталықтарын дамыту,эндаумент-қорлар;

- аймақтық және әлеуметтік деңгейде: жас маман сияқты жобаларды дамыту, жұмысшы мамандықтарының деңгейін көтеру, инклюзивті білімде кәсібилікті арттыру.

Қорытындылай келгенде, Қазақстанның индустриялық-инновациялық даму стратегиясы жаңа мамандықтарды және кәсіби стандарттарға сәйкес оқу бағдарламаларын жасау, өндірістік тәжірибені жетілдіру кадр тапшылығын азайтып, экономиканың нақты секторын дамытуға ықпал етеді. ТжКБ жүйесін жетілдіру - білікті кадрлармен қамтамасыз ету, инновациялық әлеуетті арттыру және экономикалық тұрақтылықты сақтау жолындағы стратегиялық қадам болып табылады.

Аталған ұсыныстар арқылы техникалық және кәсіптік білім беру жүйесінің дамуындағы білікті кадрлармен қамтуды жетілдіруде, мемлекеттік деңгейдегі және аймақтық- әлеуметтік деңгейдегі бағыттар арқылы тұрақты экономикалық даму мен жаңа жұмысшы орындарын құруды алғы орынға қоя аламыз.

Жалпы, осы маңыздылықты цифрлық экономика талаптарымен ұштастыру Қазақстан экономикасы кеңістігінің бәсекеге қабілеттілігін арттыра алады, білім сапасының жаһандық деңгейге көтерілуіне жол ашады.

Әдебиеттер

1. Жұмысшы мамандықтарын қолдау - экономикалық дамудың негізі. -2025. URL: https://turkystan.kz/article/272645-zumyssy-mamandyqtaryn-qoldau-ekonomikalyq-damudyn-negizi. -Қаралған күні: 12.12.2025.

2. Кунязова С. К. Экономиканы цифрландыру жағдайында адами капиталды дамыту: монография //Павлодар: Toraighyrov University. -2023. -107б. ISBN 978-601-345-436-8.

3. Ташенев М. Ж. Совершенствование системы технического и профессионального образования за годы независимости Казахстана // Вестник КазНУ: Серия историческая. – 2022. - Т.104(1). –С.154-159. DOI 10.26577/JH.2022.v104.i1.17.

4. Гневашева В.А., Фальковская К.И. Профессиональный потенциал Республики Казахстан // Вестник Алтайской академии экономики и права. -2024. -№ 8 (часть 1). -С.50–54. DOI 10.17513/vaael.3621.

5. Абуова, Н. А., Абдикадырова А.А, Современное состояние технического образования в Республике Казахстан и его роль в мировой системе //Молодой ученый. -2015. -№ 8.2(88). -С.18-21. ISSN 2072-0297.

6. Мамыров Н.К., Нурпеисова Н.С., Нурпеисова Л.С. Формирование рынка труда в малых и средних городах Казахстана:учебное пособие/Алматы, Экономика. -2000. -223 с. ISBN 9965-448-65-5

7. Полушкина Е.А., Краснова Г.А. Развитие системы непрерывного образования республики Казахстан: состояние и перспективы// Вестник РУДН, серия Информатизация образования. -2015. -No 3. -С.116-125. ISSN 2312-8631, 2312-864X.

8. Скрипник Г. Год рабочих профессий: Какие специалисты нужны в Жамбылской области. -2025. URL: https://ec-sport.kz/?p=33972. - Қаралған күні: 10.12.2025.

9. Ключарев Г.А., Тюрина И.О Болонский процесс: успехи и сомнения/соц исследования-2023. -№4. -С.84-93с. DOI 10.31857/S013216250025450-8.

10. Денисова О.К., Конурбаева Ж.Т. Анализ подготовки инженерных кадров в Республике Казахстан//Вестник университета «Туран». -2022. -Т.3. -С.260-270. DOI 10.46914/1562-2959-2022-1-3-260-270.

11. Nurmukhanova G., Абжатова, А., Kurmangalieva A. The relationship between the labor market and higher education in kazakhstan: trends and development directions // Scientific Journal of Pedagogy and Economics. -2026.-Vol.419(1). -P.875-891. DOI 10.32014/2026.2518-1467.1139

12. Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігі. Қазақстан Республикасындағы жұмыспен қамту және еңбек нарығы туралы есеп. –Астана. -2024. URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/enbek?lang=kk. -Қаралған күні: 11.03.2026.13. Борибеков К.К., Кусаинов А.К. Развитие технического и профессионального образования в Казахстане// Профессиональное образование в России и за рубежом. -2015. -Т.2(18). - С.23-26

14. Shi Y., Bangpan M. Young people’s participation experiences of technical and vocational education and training interventions in low- and middle-income countries: a systematic review of qualitative evidence//Empirical Research in Vocational Education and Training. -2022. -Vol.14: 8. DOI 10.1186/s40461-022-00136-4.

15. Андабаева Г.К., Какижанова Т.И., Абинова А.Ю. Әйелдер кәсіпкерлігін мемлекеттік қолдау-тұрақты экономикалық даму факторы//Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы. Экономика сериясы. -2025. -№ 4. -Б 30-48. DOI 10.32523/2789-4320-2025-4-30-48.

16. Hanna Alieksieieva, Viktoriia Zhygyr, Irina Nagay, Oleksandr Antonenko and Oleksandr Ovsyannikov. Global Partnership in Education as an Enhancement of University Prestige and Economic Impact// American Journal of Biomedical Science and Research. -2023. -Vol.20(4). -P.509-517. DOI 10.34297/AJBSR.2023.20.002742.

References

1. Zhumysshy mamandyqtaryn qoldau - jekonomikalyq damudyn negizi. -2025. URL: https://turkystan.kz/article/272645-zumyssy-mamandyqtaryn-qoldau-ekonomikalyq-damudyn-negizi. -Date of access: 12.12.2025. [in Kazakh]

2. Kunjazova S.K. Jekonomikany cifrlandyru zhagdajynda adami kapitaldy damytu: monografija //Pavlodar: Toraighyrov University. -2023. -107b. ISBN 978-601-345-436-8. [in Kazakh]

3. Tashenev M. Zh. Sovershenstvovanie sistemy tehnicheskogo i professional' nogo obrazovanija za gody nezavisimosti Kazahstana // Vestnik KazNU: Serija istoricheskaja. - 2022. -T. 104(1). -S.154-159. DOI 10.26577/JH.2022.v104.i1.17. [in Russian]

4. Gnevasheva V.A., Fal' kovskaja K.I. Professional' nyj potencial Respubliki Kazahstan // Vestnik Altajskoj akademii jekonomiki i prava. -2024. -№ 8 (chast' 1).-S.50-54. DOI 10.17513/vaael.3621. [in Russian]

5. Abuova, N. A., Abdikadyrova A.A, Sovremennoe sostojanie tehnicheskogo obrazovanija v Respublike Kazahstan i ego rol' v mirovoj sisteme //Molodoj uchenyj. -2015. -№ 8.2(88). -S.18-21. ISSN 2072-0297. [in Russian]

6. Mamyrov N.K., Nurpeisova N.S., Nurpeisova L.S. Formirovanie rynka truda v malyh i srednih gorodah Kazahstana:uchebnoe posobie/Almaty, Jekonomika. -2000. -223 s. ISBN 9965-448-65-5.[in Russian]

7. Polushkina E.A., Krasnova G.A. Razvitie sistemy nepreryvnogo obrazovanija respubliki Kazahstan: sostojanie i perspektivy// Vestnik RUDN, serija Informatizacija obrazovanija. -2015. -No 3. -S.116-125. ISSN 2312-8631, 2312-864X. [in Russian]

8. Skripnik G. God rabochih professij: Kakie specialisty nuzhny v Zhambylskoj oblasti.-2025 https:// ec-sport.kz/?p=33972. - Date of access: 10.12.2025. [in Russian]

9. Kljucharev G.A., Tjurina I.O Bolonskij process: uspehi i somnenija/soc issledovanija-2023. -№ 4. -S.84-93c. DOI 10.31857/S013216250025450-8. [in Russian]

10. Denisova O.K., Konurbaeva Zh.T. Analiz podgotovki inzhenernyh kadrov v Respublike Kazahstan//Vestnik universiteta «Turan». -2022. -T.3. -S.260-270. DOI 10.46914/1562-2959-2022-1-3-260-270. [in Russian]

11. Nurmukhanova G., Абжатова, A., Kurmangalieva A. The relationship between the labor market and higher education in kazakhstan: trends and development directions // Scientific Journal of Pedagogy and Economics. - 2026. -Vol.419(1). -P.875-891. DOI 10.32014/2026.2518-1467.1139

12. Qazaqstan Respublikasy Enbek zhane halyqty aleumettik qorgau ministrligi. Qazaqstan Respublikasyndagy zhumyspen қamtu zhane enbek narygy turaly esep. -Astana. -2024. URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/enbek?lang=kk. -Date of access: 11.03.2026. [in Kazakh]

13. Boribekov K.K., Kusainov A.K. Razvitie tehnicheskogo i professional' nogo obrazovanija v Kazahstane// Professional' noe obrazovanie v Rossii i za rubezhom. -2015. -T.2 (18). -S.23-26. [in Russian]

14. Shi Y., Bangpan M. Young people's participation experiences of technical and vocational education and training interventions in low- and middle-income countries: a systematic review of qualitative evidence//Empirical Research in Vocational Education and Training. -2022. -Vol.14: 8. DOI 10.1186/s40461-022-00136-4.

15. Andabaeva G.K., Kakizhanova T.I., Abinova A.Ju. Ajelder kəsipkerligin memlekettik qoldau-turaqty jekonomikalyq damu faktory//L.N.Gumilev atyndagy Eurazija ulttyq universitetinin habarshysy. Jekonomika serijasy. -2025. –N 4. -B.30-48. DOI 10.32523/2789-4320-2025-4-30-48. [in Kazakh]

16. Hanna Alieksieieva, Viktoriia Zhygyr, Irina Nagay, Oleksandr Antonenko and Oleksandr

Ovsyannikov. Global Partnership in Education as an Enhancement of University Prestige and Economic Impact// American Journal of Biomedical Science and Research. -2023. -Vol.20(4). -P.509-517. DOI 10.34297/AJBSR.2023.20.002742.

Авторлар туралы мәлімет

Өмірғазынов А.А. - PhD докторанты, Әл-Фараби Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: aidarkhan0126@mail.ru;

Кангалакова Д.М. - PhD, қауымдастырылған профессор, ҚР Білім және ғылым министрлігі Ғылым комитетінің РМҚК «Экономика институты», Алматы, Қазақстан, e-mail: dmuratbekovna@mail.ru;

Баядилова Б.М. - PhD, ассистент профессор, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: B.Bayadilova@kaztbu.edu.kz

Нурпейсова А.З. - э.ғ.м., сеньор-лектор, Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: asem_nz@mail.ru;

Саржанова А.С. - докторант «Turan-Astana» University, Астана, Қазақстан, e-mail: sarzhanova.ayagoz@mail.ru.

Information about the authors

Omirgazynov A. - PhD student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: aidarkhan0126@mail.ru;

Kangalakova D. - PhD, Associate Professor, «Institute of Economics» RSE under the Committee of Science of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan, e-mail: dmuratbekovna@mail.ru;

Bayadilova B.- PhD, Assistant Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: B.Bayadilova@kaztbu.edu.kz;

Nurpeisova A. - Master’ s degree, Senior Lecturer, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: asem_nz@mail.ru;

Sarzhanova A.- PhD student «Turan-Astana» University, Astana, Kazakhstan, e-mail: sarzhanova.ayagoz@mail.ru.

МРНТИ 06.71.57; 13.15.75 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1551**

КРЕАТИВНЫЕ ИНДУСТРИИ КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ КУЛЬТУРНОГО ТУРИЗМА В УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОНОМИКИ ВПЕЧАТЛЕНИЙ

[1]А.Н. Омаркожаева, [1]А.А. Жунусова, [1]И.В. Ярдякова, [2]С.А. Юсупова, [1]Г.Б. Ахметова, [1]Б.Ш. Муканова

[1]АО «Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова», Астана, Казахстан
[2]Казахская национальная академия хореографиию, Астана, Казахстан

Корреспондент-автор: e-mail: asya_7510@mail.ru

В статье рассматривается роль креативных индустрий как фактора развития культурного туризма в условиях формирования экономики впечатлений. Актуальность исследования обусловлена трансформацией туристского спроса, при которой ключевое значение приобретает не столько потребление услуг, сколько получение уникального культурного и эмоционального опыта.

Целью исследования является анализ влияния креативных индустрий на формирование туристской привлекательности территорий и развитие культурного туризма. В работе использованы методы анализа научной литературы, статистического и сравнительного анализа, а также обобщения международного опыта. Информационной базой исследования послужили данные международных организаций (UNCTAD, UNWTO, OECD) и статистика Республики Казахстан.

В результате исследования установлено, что развитие креативных индустрий способствует формированию культурной среды территорий, созданию новых туристских продуктов и повышению уровня туристской привлекательности. Проведённый анализ показал, что культурные и креативные практики (фестивали, культурные события, арт-пространства) оказывают значительное влияние на структуру туристских потоков и уровень удовлетворенности посетителей.

Научная новизна исследования заключается в уточнении механизма влияния креативных индустрий на развитие культурного туризма и разработке авторской модели трансформации креативного потенциала территории в туристский продукт в условиях экономики впечатлений.

Практическая значимость результатов заключается в возможности их использования при разработке государственной политики в сфере туризма и креативной экономики, а также при формировании региональных стратегий развития культурного туризма.

Ключевые слова: креативные индустрии, культурный туризм, экономика впечатлений, туристская привлекательность, культурная инфраструктура, туристский опыт.

КРЕАТИВТІ ИНДУСТРИЯЛАР ТӘЖІРИБЕ ЭКОНОМИКАСЫНЫҢ ҚАЛЫПТАСУ ЖАҒДАЙЫНДА МӘДЕНИ ТУРИЗМДІ ДАМЫТУДЫҢ ФАКТОРЫ РЕТІНДЕ

[1]А.Н. Омаркожаева, [1]А.А. Жунусова, [1]И.В. Ярдякова, [2]С.А. Юсупова, [1]Г.Б Ахметова, [1]Б.Ш. Муканова

[1]«Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті» АҚ, Астана, Қазақстан,
[2]Қазақ ұлттық хореография академиясы, Астана, Қазақстан,
e-mail: asya_7510@mail.ru

Мақалада әсер экономикасының қалыптасуы жағдайында креативті индустриялардың мәдени туризмді дамытудағы рөлі қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі туристік сұраныстың трансформациясымен байланысты, мұнда негізгі мән қызметтерді тұтынудан гөрі бірегей мәдени және эмоциялық тәжірибе алуға бағытталған.

Зерттеудің мақсаты - креативті индустриялардың туристік аумақтардың тартымдылығын қалыптастыруға және мәдени туризмнің дамуына әсерін талдау. Зерттеу барысында ғылыми әдебиеттерді талдау, статистикалық және салыстырмалы талдау, сондай-ақ халықаралық тәжірибені жинақтау

әдістері қолданылды. Зерттеудің ақпараттық базасын UNCTAD, UNWTO, OECD сияқты халықаралық ұйымдардың материалдары және Қазақстан Республикасының статистикалық деректері құрады.

Зерттеу нәтижелері креативті индустриялардың аумақтардың мәдени кеңістігін қалыптастыруға, жаңа туристік өнімдерді жасауға және туристік тартымдылықты арттыруға ықпал ететінін көрсетті. Жүргізілген талдау мәдени және креативті тәжірибелердің (фестивальдер, мәдени іс-шаралар, арт-кеңістіктер) туристік ағындардың құрылымына және келушілердің қанағаттану деңгейіне айтарлықтай әсер ететінін дәлелдеді.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы креативті индустриялардың мәдени туризмді дамытуға әсер ету механизмін нақтылауда және әсер экономикасы жағдайында аумақтың креативті әлеуетін туристік өнімге трансформациялаудың авторлық моделін ұсынуда көрінеді.

Зерттеу нәтижелерінің практикалық маңыздылығы оларды туризм және креативті экономика саласындағы мемлекеттік саясатты әзірлеуде, сондай-ақ мәдени туризмді дамытудың өңірлік стратегияларын қалыптастыруда қолдану мүмкіндігімен анықталады.

Түйін сөздер: креативті индустриялар, мәдени туризм, әсер экономикасы, туристік тартымдылық, мәдени инфрақұрылым, туристік тәжірибе.

CREATIVE INDUSTRIES AS A DRIVER OF CULTURAL TOURISM DEVELOPMENT IN THE CONTEXT OF THE EXPERIENCE ECONOMY FORMATION

[1]A.N. Omarkozhayeva✉, [1]A.A. Zhunusova, [1]I.V. Yardyakova, [2]S.A. Yussupova, [1]G.B. Akhmetova, [1]B.Sh. Mukanova

[1]«K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business» JSC, Astana, Kazakhstan,
[2]Kazakh National Academy of Choreography, Astana, Kazakhstan,
e-mail: asya_7510@mail.ru

The article examines the role of creative industries as a key driver of cultural tourism development in the context of the emerging experience economy. The relevance of the study is determined by the transformation of tourist demand, where the focus shifts from the consumption of standard services to the acquisition of unique cultural and emotional experiences.

The aim of the research is to analyze the impact of creative industries on the formation of territorial attractiveness and the development of cultural tourism. The study employs methods of literature review, statistical and comparative analysis, as well as the generalization of international practices. The empirical base includes data from international organizations (UNCTAD, UNWTO, OECD) and national statistics of the Republic of Kazakhstan.

The results demonstrate that the development of creative industries contributes to the formation of a vibrant cultural environment, the creation of new tourism products, and the enhancement of destination attractiveness. The analysis shows that creative practices such as festivals, cultural events, and art spaces significantly influence tourist flows and visitor satisfaction levels.

The scientific contribution of the study lies in clarifying the mechanism through which creative industries influence cultural tourism, as well as in developing an author’s model for transforming the creative potential of a territory into a tourism product within the framework of the experience economy.

The practical significance of the research is associated with the possibility of applying its results in the development of public policies in tourism and the creative economy, as well as in designing regional strategies for cultural tourism development.

Keywords: creative industries, cultural tourism, experience economy, destination attractiveness, cultural infrastructure, tourist experience.

Введение. В последние десятилетия развитие туризма все более тесно связано с трансформацией структуры мировой экономики, в которой возрастает значение нематериальных факторов создания стоимости. Одним из ключевых направлений таких изменений стало формирование так называемой экономики впечатлений, в рамках которой особую роль начинают играть культурные, творческие и эмоциональные аспекты потребления. В этих условиях туристы стремятся не только к посещению новых мест, но и к получению уникального культурного опыта, связанного с участием в событиях, знакомством с локальными традициями и взаимодействием с культурной средой территории.

На фоне указанных процессов особое значение приобретают креативные индустрии, объединяющие виды деятельности, основанные на использовании интеллектуального капитала, культурного наследия и творческого потенциала. Креативные индустрии охватывают широкий спектр сфер-от дизайна, киноиндустрии и архитектуры до музыки, гастрономии, медиа и цифрового контента. Их развитие способствует созданию культурных событий, формированию креативных пространств и появлению новых форм культурного потребления, что оказывает значительное влияние на туристскую привлекательность территорий.

Мировая практика показывает, что интеграция креативных индустрий и туризма становится одним из факторов повышения конкурентоспособности регионов и городов. Фестивали, культурные маршруты, арт-кластеры, творческие кварталы и гастрономические события формируют уникальный культурный образ территорий и становятся важными элементами туристского предложения. В результате креативные индустрии начинают рассматриваться не только как сектор экономики, но и как инструмент развития культурного туризма и продвижения территорий на международном туристском рынке.

В последние годы вопросы развития креативной экономики и культурного туризма приобретают актуальность и для Республики Казахстан. Государственная политика в данной сфере направлена на развитие культурной инфраструктуры, поддержку творческих инициатив и формирование креативных индустрий как одного из перспективных направлений диверсификации экономики. Вместе с тем потенциал креативных индустрий как фактора развития культурного туризма в Казахстане остается недостаточно исследованным и требует комплексного научного анализа.

Целью настоящего исследования является анализ роли креативных индустрий в развитии культурного туризма в условиях формирования экономики впечатлений, а также выявление механизмов влияния креативной деятельности на формирование туристского опыта и туристских потоков.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи: анализ теоретических подходов к исследованию креативных индустрий и экономики впечатлений; исследование экономического значения креативных индустрий в мировой экономике; анализ развития культурной инфраструктуры и культурной активности в Республике Казахстан; оценка влияния культурных и креативных практик на формирование туристского опыта и туристской привлекательности территорий.

Научная новизна исследования заключается в:

- уточнении механизма влияния креативных индустрий на развитие культурного туризма в условиях экономики впечатлений;

- интеграции статистических данных о культурной инфраструктуре и туристских потоках Республики Казахстан в единую аналитическую модель;

- разработке авторского механизма формирования туристского опыта на основе креативных практик.

Материалы и методы. Информационной базой исследования послужили научные публикации отечественных и зарубежных авторов, посвященные развитию креативной экономики, культурного туризма и экономики впечат-

лений, а также аналитические отчеты международных организаций и статистические данные. В частности, использованы материалы исследований United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), World Tourism Organization (UNWTO), OECD, а также статистические данные Бюро национальной статистики Республики Казахстан, характеризующие развитие культурной инфраструктуры и туристской деятельности.

Исследовательский материал включает статистические данные о количестве культурных учреждений, посещаемости культурных мероприятий, развитии культурно-событийной активности, а также данные о структуре въездных туристских потоков и уровне удовлетворенности иностранных посетителей туристскими услугами. Указанные материалы представлены как в количественном выражении (показатели посещаемости, количество объектов культуры, туристские потоки), так и в качественном выражении, отражающем особенности формирования культурной среды и туристских впечатлений.

Исследовательский вопрос работы заключается в определении роли креативных индустрий в формировании туристской привлекательности территорий и развитии культурного туризма в условиях экономики впечатлений.

В рамках исследования выдвинута гипотеза о том, что развитие креативных индустрий способствует усилению туристской привлекательности территорий, формированию уникального культурного образа регионов и повышению интереса туристов к культурным и событийным формам туризма.

Исследование проводилось в несколько этапов. На первом этапе был проведен анализ научной литературы и международных исследований, посвященных развитию креативных индустрий и культурного туризма. На втором этапе выполнен анализ статистических данных о развитии культурной инфраструктуры и культурной активности в Республике Казахстан. На третьем этапе проведено обобщение международного опыта интеграции креативных индустрий и туризма, а также интерпретация полученных данных в контексте экономики впечатлений.

В ходе исследования применялись методы анализа научной литературы, статистического анализа, сравнительного анализа и обобщения международного опыта. Для систематизации теоретических подходов использовался метод контент-анализа научных публикаций. Для анализа статистических данных применялись методы аналитического и сравнительного анализа.

В процессе исследования также использовались инструменты искусственного интеллекта для обработки текстовой информации и подготовки отдельных визуальных материалов исследования.

Результаты исследования позволили выявить взаимосвязь между развитием креативных индустрий и формированием культурной привлекательности территорий, а также определить роль культурных событий и креативных практик в развитии культурного туризма.

Результаты и обсуждение. В последние десятилетия развитие культурного туризма все чаще рассматривается в контексте формирования так называемой экономики впечатлений, в которой ключевым фактором создания ценности становится не столько материальный продукт, сколько эмоциональный и культурный опыт потребителя. В этих условиях особое значение приобретают креативные индустрии, выступающие важным источником формирования уникального культурного контента и туристских впечатлений.

Понятие креативных индустрий получило широкое распространение в научной литературе и международной практике в конце XX-начале XXI века. Одними из первых системных исследований в данной области считаются работы John Howkins, который рассматривал креативную экономику как совокупность отраслей, основанных на использовании интеллектуального капитала, знаний и творческого потенциала как ключевых факторов создания экономической стоимости. По мнению автора, креативные индустрии объединяют виды деятельности,

связанные с производством и распространением культурного и интеллектуального контента, включая дизайн, музыку, кино, издательскую деятельность, рекламу, архитектуру и другие формы творческой деятельности [1].

Существенное значение для развития идей креативной экономики имеет концепция «креативного класса» R. Florida. Как отмечается в обзорной статье S. Das, данная концепция исходит из того, что важнейшим ресурсом современного социально-экономического развития выступают группы населения, занятые в сферах творчества, науки, культуры и инновационной деятельности. Концентрация таких групп в городской среде рассматривается как фактор, способствующий развитию инноваций, культурной активности и повышению общей привлекательности территории [2].

В международной практике значительный вклад в развитие теории креативных индустрий внесли исследования United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) и UNESCO [3,4]. В современных аналитических докладах, включая Creative Economy Outlook и исследования OECD, креативные индустрии рассматриваются как один из наиболее динамично развивающихся сегментов мировой экономики, формирующийся на основе синергии культурного производства, цифровых технологий и инновационной деятельности. Особое внимание уделяется роли интеллектуальной собственности и творческого капитала как ключевых факторов устойчивого экономического роста [5].

Важным этапом институционального признания роли креативной экономики стало решение United Nations провозгласить 2021 год Международным годом креативной экономики в интересах устойчивого развития. Данная инициатива подчеркнула возрастающее значение творческих отраслей как фактора устойчивого и инклюзивного экономического роста, основанного на использовании интеллектуального капитала, инноваций и культурного разнообразия.

В настоящее время креативные индустрии рассматриваются как значимый сектор мировой экономики. По оценкам международных организаций, культурные и креативные индустрии формируют заметную долю мирового валового продукта и обеспечивают миллионы рабочих мест, особенно среди молодежи. Развитие данного направления способствует диверсификации национальных экономик, стимулирует предпринимательскую активность и укрепляет культурную идентичность государств.

В контексте обозначенных глобальных тенденций вопросы развития креативных индустрий приобретают актуальность и для Республики Казахстан. Государственная политика в данной сфере закреплена в Концепции развития креативных индустрий Республики Казахстан на 2021–2025 годы [6], утвержденной постановлением Правительства Республики Казахстан. В документе креативные индустрии рассматриваются как сектора экономики, основанные на использовании творчества, воображения и интеллектуального капитала, включая как традиционные отрасли культуры и искусства, так и сферы цифровых технологий, медиа и информационных услуг.

Одновременно с развитием концепции креативных индустрий в научной литературе получила распространение теория экономики впечатлений, предложенная B. Joseph Pine II и James H. Gilmore. В их работе The Experience Economy: Work Is Theatre and Every Business a Stage подчеркивается, что современная экономика проходит этап трансформации от экономики товаров и услуг к экономике впечатлений, где главным объектом потребления становится уникальный эмоциональный и культурный опыт [7]. В контексте туризма это означает смещение акцента с традиционного предоставления услуг на создание запоминающихся культурных и событийных практик, вовлекающих туристов во взаимодействие с культурной средой.

Развитие экономики впечатлений тесно связано с трансформацией культурного туризма. В исследованиях Greg Richards и Julie Wilson отмечается, что современный культурный туризм постепенно переходит от пассивного потребления культурного наследия к активным формам участия туристов в культурной жизни террито-

рии. Данный процесс выражается в росте популярности фестивалей, культурных событий, арт-пространств, творческих кварталов и других форм креативного туризма, ориентированных на вовлечение посетителей в создание и переживание культурного опыта [8].

Исследования показывают, что креативные индустрии способны выступать важным драйвером развития культурного туризма, поскольку они формируют новые туристские продукты, основанные на локальной культуре, традициях и современном творчестве. По мнению Greg Richards, интеграция творческих отраслей и туризма способствует диверсификации туристского предложения, повышению конкурентоспособности территорий и формированию уникального культурного бренда региона [9].

Проведенный анализ научной литературы позволяет выделить ряд ключевых теоретических подходов, объясняющих роль креативных индустрий в развитии культурного туризма и экономики впечатлений. Основные концепции и их значение для туристской отрасли систематизированы в таблице 1.

Таблица 1 - Основные теоретические подходы к исследованию креативных индустрий и культурного туризма

Автор	Основная концепция	Ключевые идеи	Значение для развития туризма
J. Howkins	Креативная экономика	Экономическая ценность создается за счет интеллектуальной собственности, творчества и знаний	Формирование новых культурных и творческих продуктов
R. Florida	Теория креативного класса	Развитие территорий зависит от концентрации талантливых и творческих специалистов	Рост привлекательности городов для туристов
B. Pine, J. Gilmore	Экономика впечатлений	Экономическая ценность формируется через создание уникальных впечатлений	Переход туризма от услуг к созданию опыта
G. Richards, J. Wilson	Креативный туризм	Туристы участвуют в культурной жизни территории и создают опыт	Развитие фестивалей, арт-кластеров и культурных событий
Примечание-составлено авторами на основании [7-9]			

Таким образом, анализ научной литературы показывает, что креативные индустрии и экономика впечатлений формируют новую парадигму развития культурного туризма. В рамках данной парадигмы ключевую роль играет создание оригинального культурного контента и вовлечение туристов в процессы культурного производства и потребления, что позволяет территориям формировать устойчивые конкурентные преимущества на мировом туристском рынке.

Креативные индустрии играют все более значимую роль в повышении конкурентоспособности туристских территорий. В условиях экономики впечатлений туристы стремятся не только к посещению новых мест, но и к получению уникального культурного и эмоционального опыта. Именно креативная деятельность формирует содержательную основу такого опыта, создавая культурные события, арт-пространства, фестивали, гастрономические практики, элементы городского дизайна и другие формы культурного продукта.

В этом контексте креативные индустрии выступают важным фактором развития культурно-

го туризма, поскольку они формируют культурную среду территории, повышают ее привлекательность для посетителей и способствуют формированию уникального имиджа региона.

Мировая практика показывает, что интеграция культуры, творчества и туризма способствует возникновению новых форм туристской активности. К ним относятся фестивальный и событийный туризм, развитие арт-кластеров, креативных кварталов, культурных маршрутов и творческих пространств. Подобные инициативы позволяют не только привлекать туристов, но и стимулировать развитие локальной экономики, поддерживать культурное наследие и активизировать деятельность творческих сообществ.

Статистические данные международных организаций подтверждают значительный экономический потенциал креативных индустрий. По оценкам международных исследований, данный сектор формирует существенный вклад в мировую экономику и обеспечивает значительную занятость населения (таблица 2).

Таблица 2 - Экономическое значение креативных индустрий в мировой экономике

Показатель	Значение
Глобальный объем рынка креативных индустрий	около 2,3 трлн долл. США
Доля в мировом ВВП	около 3 %
Количество занятых	около 30 млн человек
Вклад креативных индустрий в ВВП отдельных стран	0,5–7,3 %
Доля занятости в креативной экономике	0,5–12,5 % рабочей силы
Примечание – составлено авторами на основании [3]	

Представленные данные свидетельствуют о том, что креативная экономика занимает все более значимое место в структуре мировой торговли. При этом наибольшую долю составляют креативные услуги, связанные с культурным производством, цифровыми технологиями, дизайном, аудиовизуальным контентом и медиаиндустрией.

Развитие данных отраслей оказывает непосредственное влияние на туристскую сферу, поскольку создаваемый ими культурный контент становится важной составляющей туристского предложения. Креативные индустрии формируют новые форматы культурного потребления, создают культурные события и пространства, которые привлекают туристов и усиливают привлекательность территорий.

Одним из важнейших показателей развития креативных индустрий является международная торговля креативной продукцией и услугами. Согласно международной статистике, объем экспорта креативных услуг значительно превышает экспорт креативных товаров и продолжает демонстрировать устойчивую динамику роста, что связано с развитием цифровых технологий, программного обеспечения, медиаиндустрии и аудиовизуального контента.

Анализ международной статистики показывает, что мировая торговля креативной продукцией характеризуется устойчивой положительной динамикой и высокой степенью концентрации. Согласно данным UNCTAD Creative Economy Outlook 2024, общий объем экспорта креативных услуг в мире составляет около 1,4 трлн долл. США, тогда как экспорт креативных товаров достигает 713 млрд долл. США [3]. Динамика мировой торговли креативными товарами и услугами представлена на рисунке 1.

При этом структура мировой торговли демонстрирует существенные различия между сегментами креативной экономики. Креативные услуги формируют около 19 % мирового экспорта

услуг, что свидетельствует о высокой роли цифровых и интеллектуальных продуктов-дизайна, архитектуры, программного обеспечения, аудиовизуального контента и других нематериальных результатов творческой деятельности. В то же время доля креативных товаров в мировом экспорте товаров составляет около 2,9 %, что отражает более узкую специализацию материального сегмента креативных индустрий, включающего производство дизайнерских изделий, модной продукции, предметов искусства и культурной атрибутики.

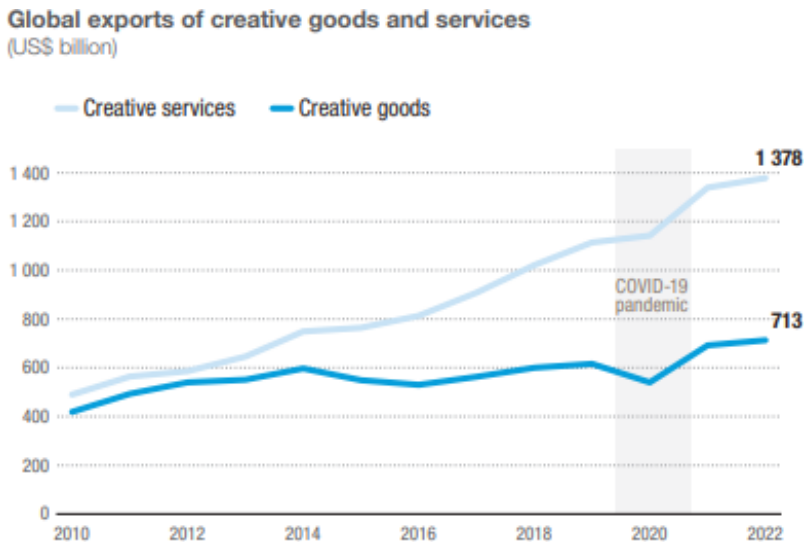


Рис.1 - Динамика мирового экспорта креативных товаров и услуг
Примечание-источник на основе данных UNCTAD Creative Economy Outlook 2024

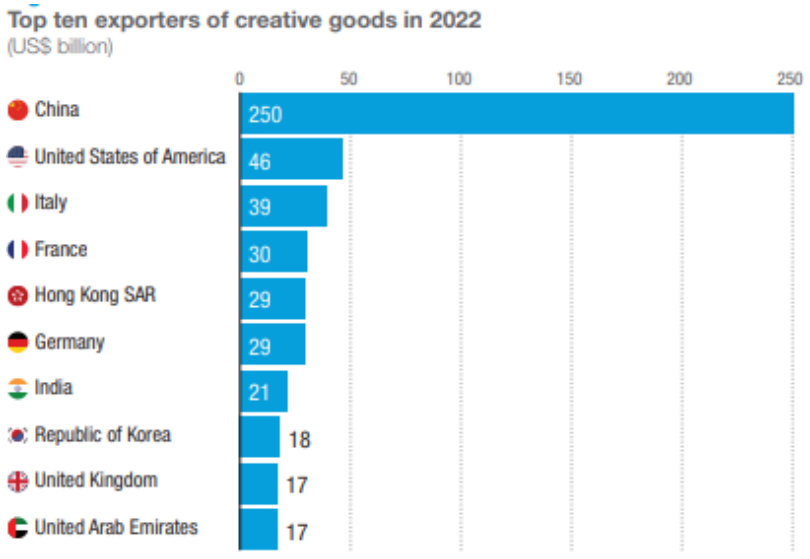


Рис.2 - Крупнейшие экспортеры креативных услуг в мире
Примечание-источник UNCTAD Creative Economy Outlook 2024

Важной особенностью мировой торговли креативной продукцией является высокая географическая концентрация экспортных потоков. Основная часть экспорта приходится на ограниченное число стран, обладающих развитой инфраструктурой креативных индустрий, высо-

ким уровнем цифровизации экономики и значительными инвестициями в развитие культурного капитала. К таким странам относятся Китай, США, государства Европейского союза, Республика Корея и Великобритания. Структура ведущих экспортеров креативных услуг представлена на рисунке 2.

Кроме того, наблюдается усиление роли азиатских стран, активно развивающих экспорт культурного контента, аудиовизуальной продукции, дизайна и цифровых креативных услуг. В частности, Республика Корея демонстрирует быстрый рост экспорта креативной продукции благодаря развитию индустрии развлечений, музыкальной индустрии, кино и цифрового контента. Франция и Италия, в свою очередь, сохраняют устойчивые позиции в сегментах моды, дизайна, культурного наследия и креативного туризма.

Мировой опыт показывает, что страны, обладающие развитой инфраструктурой креативных индустрий, как правило, демонстрируют высокие показатели развития культурного туризма. Развитие индустрии кино, дизайна, музыки, гастрономии и культурных событий способствует формированию уникального культурного образа территорий и повышает их туристскую привлекательность. В результате креативные индустрии выступают не только самостоятельным сектором экономики, но и важным инструментом продвижения стран и регионов на международном туристском рынке.

В контексте туризма креативные индустрии выполняют не только культурную, но и экономическую функцию, выступая источником формирования туристских впечатлений и уникальных туристских продуктов. Культурные события, фестивали, выставки, театральные постановки, музыкальные концерты, арт-пространства и творческие кварталы формируют особую культурную среду, которая становится объектом туристского интереса. Подобные формы культурной активности создают уникальный туристский опыт и усиливают привлекательность туристских направлений в условиях экономики впечатлений.

Таким образом, развитие креативных индустрий непосредственно влияет на формирование культурного туризма, поскольку обеспечивает создание событий, культурных продуктов и творческих пространств, которые становятся центрами притяжения туристских потоков.

В этой связи важное значение приобретает анализ культурной инфраструктуры и культурной активности, формирующих основу развития креативных индустрий и культурного туризма в Республике Казахстан.

Развитие креативных индустрий тесно связано с состоянием культурной инфраструктуры страны, которая обеспечивает условия для производства и распространения культурных и творческих продуктов. В Казахстане культурная сфера представлена широкой сетью учреждений, выполняющих функции сохранения культурного наследия, организации культурных мероприятий и формирования культурного пространства.

По состоянию на начало 2025 года в Республике Казахстан функционировало 3920 библиотек, 3076 культурно-досуговых организаций, 282 музея, 251 парк развлечений и отдыха, 113 кинотеатров, 74 театра, 50 концертных организаций, 10 зоопарков и 4 цирка [10].

Указанные учреждения формируют институциональную основу культурной и креативной деятельности, обеспечивая проведение выставок, театральных постановок, концертов, фестивалей и других форм культурной активности. Развитие культурной инфраструктуры создает условия для становления креативных индустрий, охватывающих широкий спектр видов деятельности: дизайн, киноиндустрию, архитектуру, гастрономию, ремесленные производства, фестивальные и культурно-событийные форматы. Именно эти направления формируют современное культурное пространство городов и регионов и становятся важным элементом их туристской привлекательности.

Статистические данные также свидетельствуют о значительной посещаемости культурных объектов. Наиболее посещаемыми учреждениями являются библиотеки, которые ежегодно привлекают более 55 млн посещений, кинотеатры-

23,2 млн посещений, парки развлечений и отдыха-15,6 млн посещений, музеи-6,6 млн посещений.

Представленные данные имеют значение не только как характеристика масштаба культурной инфраструктуры, но и как показатель ресурсной базы для развития креативных индустрий. Наличие библиотек, музеев, театров, концертных организаций, парков отдыха и культурно-досуговых учреждений формирует институциональную среду, в которой могут развиваться фестивальные, выставочные, гастрономические, ремесленные и иные событийные форматы. Именно такие форматы превращают культурную инфраструктуру из пассивного набора объектов в активный элемент туристского предложения, способный формировать эмоционально насыщенный туристский опыт.

Развитие культурной инфраструктуры сопровождается увеличением количества культурно-массовых мероприятий, проводимых учреждениями культуры. Подобные мероприятия играют важную роль в формировании культурной среды территорий и выступают значимым элементом развития событийного и культурного туризма. Динамика числа культурно-массовых мероприятий в Казахстане представлена на рисунке 3.

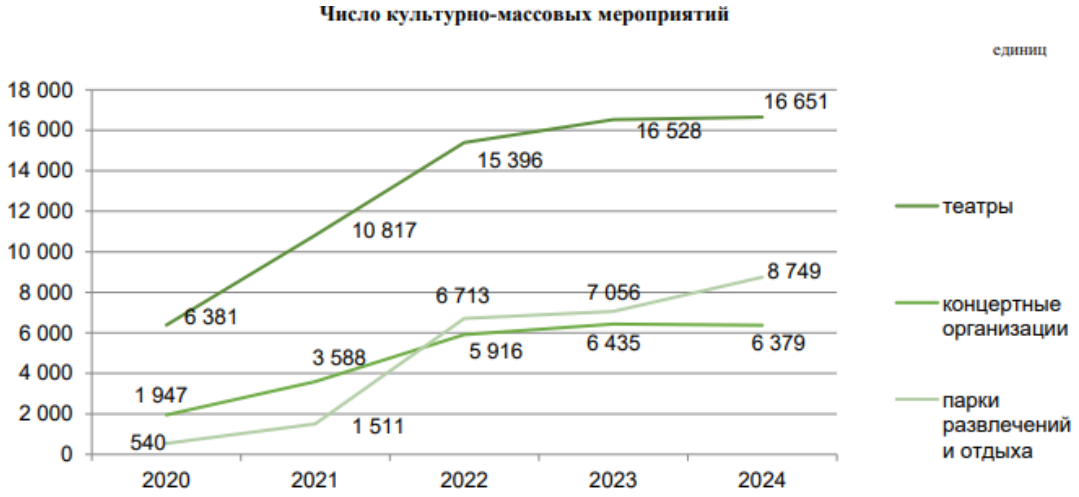


Рис.3 - Динамика числа культурно-массовых мероприятий в Республике Казахстан
Примечание-источник [10]

В региональном разрезе наиболее высокая посещаемость культурных учреждений наблюдается в крупных городах и туристских центрах страны, таких как Алматы, Астана и Шымкент, где сосредоточена значительная часть культурной инфраструктуры и проводится большое количество культурных мероприятий.

Рост культурно-массовой активности усиливает событийную составляющую туризма, поскольку подобные мероприятия создают дополнительные мотивы для посещения территории, способствуют увеличению продолжительности пребывания туристов и повышают вероятность повторных визитов. В условиях экономики впечатлений туристская привлекательность формируется не только наличием достопримечательностей, но и возможностью участия в событиях, взаимодействия с локальной культурой и получения уникального эмоционального опыта.

Таким образом, развитие культурной инфраструктуры и расширение культурно-событийной активности создают благоприятные условия для становления креативных индустрий и формирования новых туристских продуктов. Фестивали, выставки, гастрономические мероприятия, арт-пространства и иные креативные практики становятся важным элементом туристского предложения и способствуют повышению

привлекательности территорий для внутренних и иностранных посетителей.

Важным показателем, характеризующим туристскую активность, является структура въездного туристского потока и цели поездок иностранных посетителей. Согласно данным Бюро национальной статистики Республики Казахстан, общее количество въездных посетителей в 2025 году составило 15 740 539 человек. Наибольшую долю составили поездки в личных целях - 13 468 768 человек, тогда как с деловыми и профессиональными целями страну посетили 40 280 человек. Количество посетителей, прибывших непосредственно с туристскими целями, составило 334 607 человек. Таким образом, поездки в личных целях формируют основную часть въездного потока, что свидетельствует о значительном потенциале развития рекреационного, культурного и познавательного туризма в Республике Казахстан.

Анализ структуры въездных посетителей показывает, что значительная часть иностранных гостей относится к категории ночующих посетителей, что формирует дополнительный спрос на услуги размещения, общественного питания, транспорта и индустрии досуга. Продолжительность пребывания туристов и вовлеченность в культурные и событийные практики усиливают экономический эффект туристской деятельности и способствуют развитию гостиничной, ресторанной и туристской инфраструктуры страны [12].

Географическая структура въездного туристского потока характеризуется определенной концентрацией. Наибольшее число посетителей прибывает из стран ближнего зарубежья, прежде всего из России, Узбекистана и Кыргызстана, что обусловлено географической близостью, транспортной доступностью и историко-культурными связями. В то же время присутствие туристов из стран Европы, Азии и Ближнего Востока свидетельствует о постепенном расширении географии туристских потоков и росте международной туристской привлекательности Казахстана.

Представленные статистические данные позволяют сделать вывод о том, что развитие культурной инфраструктуры и проведение культурных мероприятий создают благоприятные условия для увеличения туристских потоков. Креативные индустрии, формируя новые формы культурного потребления-фестивали, арт-пространства, культурные маршруты и креативные кластеры-становятся важным инструментом привлечения туристов и формирования уникального туристского опыта.

Полученные данные позволяют оценить не только масштабы культурной инфраструктуры, но и качество туристского опыта, формируемого на ее основе. Важным индикатором в данном случае выступает степень удовлетворенности иностранных посетителей различными видами туристских услуг. Анализ основан на материалах выборочного обследования въездных посетителей, проведенного Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан [12].

Результаты обследования показывают, что значительная часть туристов высоко оценивает качество услуг размещения, общественного питания, транспорта, а также услуг отдыха и развлечений. Особенно высокий уровень удовлетворенности наблюдается в сегменте рекреационных и развлекательных услуг, включающем посещение культурных мероприятий, фестивалей, концертных программ, музеев и других объектов культурной инфраструктуры.

Эти показатели свидетельствуют о том, что культурные и креативные активности формируют значимую часть туристского опыта иностранных посетителей и выступают важным фактором привлекательности туристских территорий. Культурные мероприятия, фестивали, выставки, гастрономические события, арт-пространства и историко-культурные объекты создают уникальное содержание туристского продукта, способствуя привлечению посетителей.

Анализ степени удовлетворенности иностранных посетителей качеством туристских услуг показывает высокий уровень положительных оценок, в том числе по категории услуг отдыха и развлечений. Данная категория включает по-

сещение культурных мероприятий, концертных программ, музеев, театров, выставок и других форм культурного досуга. Высокие оценки свидетельствуют о том, что туристы положительно воспринимают не только базовые услуги размещения, питания и транспорта, но и содержательную составляющую поездки, связанную с культурой, досугом и эмоциональными впечатлениями.

Таблица 3 - Количество въездных посетителей по степени удовлетворенности поездкой, чел.

	Степень удовлетворенности поездкой				
	5	4	3	2	1
	отлично	**хорошо**	**удовлетвори-тельно**	**плохо**	**очень плохо**
Услуги по размещению	17 494	2 006	96	2	491
Услуги объектов общественного питания	19 408	2 687	323	38	470
Услуги транспорта	18 133	2 964	222	58	459
Услуги отдыха и развлечений	15 226	2 941	266	40	458
Экскурсионные услуги (услуги гидов)	10 786	2 340	664	183	494
Количество въездных посетителей, указавших степень удовлетворенности поездкой	20 055	2 315	318	134	406
Примечание-источник [12]					

Полученные данные позволяют проследить взаимосвязь между развитием культурной и рекреационной среды и качеством туристского опыта. Креативные и культурные практики усиливают воспринимаемую ценность туристского продукта, способствуют формированию более эмоционально насыщенного опыта и повышают привлекательность территории для иностранных посетителей.

Таким образом, эмпирические данные подтверждают гипотезу исследования: именно культурные и креативные элементы туристского продукта формируют высокий уровень удовлетворенности посетителей, что свидетельствует о значимой роли экономики впечатлений в развитии современного культурного туризма.

В целом можно отметить, что развитие креативных индустрий способствует формированию культурного пространства территорий, созданию новых туристских продуктов и повышению их привлекательности для иностранных посетителей. В условиях экономики впечатлений креативный контент становится одним из ключевых факторов конкурентоспособности туристских направлений.

Анализ развития креативных индустрий и культурной инфраструктуры в Республике Казахстан представляет особый интерес с точки зрения оценки потенциала культурного туризма. Изучение институциональных и инфраструктурных условий функционирования культурной сферы позволяет определить возможности страны в развитии креативной экономики и расширении культурно-туристского предложения.

В современных исследованиях креативные индустрии рассматриваются как один из ключе-

вых факторов развития культурного туризма, поскольку способствуют формированию культурного контента и расширению культурной инфраструктуры территорий [13,14]. Как показывают современные исследования, развитие креативного туризма связано с ростом спроса на аутентичные и вовлекающие формы культурного опыта, предполагающие активное участие туристов и развитие их творческого потенциала [15]. Креативные практики, включая фестивали, выставки, гастрономические мероприятия, концертные программы и арт-пространства, формируют насыщенную культурную среду, повышающую туристскую привлекательность дестинаций и стимулирующую приток посетителей [13,14].

Статистические данные позволяют проследить последовательную взаимосвязь между развитием культурной инфраструктуры, событийной активностью и туристской привлекательностью территорий. Культурные учреждения создают базу для креативной деятельности, культурные мероприятия наполняют территорию событийным содержанием, а положительные оценки посетителей подтверждают значимость культурно-досуговой составляющей в формировании туристского опыта. На этой основе креативные индустрии могут рассматриваться как механизм преобразования культурного потенциала территории в конкурентоспособный туристский продукт.

Взаимосвязь между развитием креативных индустрий и культурного туризма может быть представлена в виде последовательного механизма формирования туристского опыта и связанных с ним экономических эффектов. Данный механизм отражает процесс трансформации культурного и творческого потенциала территории в туристский продукт и его последующее влияние на развитие туристских потоков и экономики региона (рисунок 4).

Как показано на рисунке 4, развитие креативных индустрий оказывает комплексное влияние на формирование культурного туризма. Творческая деятельность способствует развитию культурной инфраструктуры и организации культурных событий, которые формируют уникальный туристский опыт и выступают важным фактором привлечения туристских потоков.



Рис.4 - Механизм трансформации креативного потенциала территории в туристский продукт и экономический эффект в условиях экономики впечатлений

Примечание-разработано авторами на основе проведенного анализа; визуализация подготовлена с использованием инструментов искусственного интеллекта

В результате возникает мультипликативный экономический эффект, проявляющийся в развитии сферы услуг, росте занятости, увеличении доходов туристской отрасли и повышении туристской привлекательности территорий.

Полученные результаты согласуются с выводами международных исследований UNCTAD и UNWTO, согласно которым развитие креативных индустрий способствует формированию устойчивых конкурентных преимуществ туристских территорий. В отличие от стран с развитой креативной экономикой, Казахстан находится на этапе институционального становления креативных индустрий, что ограничивает их вклад

в экспорт туристских услуг, но одновременно открывает значительный потенциал роста.

Выводы. Проведенное исследование показало, что креативные индустрии играют все более значимую роль в развитии современного культурного туризма в условиях экономики впечатлений. Анализ научной литературы позволил выявить ключевые теоретические подходы, объясняющие взаимосвязь между развитием креативной экономики, формированием культурного пространства территорий и повышением туристской привлекательности регионов.

Международная статистика подтверждает высокий экономический потенциал креативных индустрий, которые обеспечивают значительный вклад в мировую экономику и создают миллионы рабочих мест. Развитие творческих отраслей способствует созданию культурного контента, появлению новых форм культурного потребления и расширению событийной активности, что усиливает их влияние на туристскую сферу.

Анализ культурной инфраструктуры Республики Казахстан показал наличие значительного потенциала для развития креативных индустрий и культурного туризма. Развитая сеть учреждений культуры, увеличение количества культурно-массовых мероприятий и высокая посещаемость культурных объектов создают благоприятные условия для формирования новых культурных и туристских продуктов.

Исследование структуры въездного туристского потока и уровня удовлетворенности иностранных посетителей показало, что культурные и креативные активности играют важную роль в формировании туристского опыта. Высокие оценки услуг отдыха и развлечений свидетельствуют о значимости культурных мероприятий, фестивалей и объектов культурной инфраструктуры для иностранных туристов.

На основе проведенного исследования можно выделить следующие направления развития креативных индустрий и культурного туризма в Республике Казахстан:

- развитие креативных кластеров и творческих пространств в крупных городах и туристских центрах страны;

- поддержка культурных и фестивальных мероприятий, формирующих событийный и культурный туризм;

- развитие гастрономического и ремесленного туризма, основанного на локальных культурных традициях;

- интеграция креативных индустрий в региональные стратегии развития туризма;

- активное использование цифровых технологий и медиа для продвижения культурного контента и туристских направлений.

Реализация данных направлений позволит повысить конкурентоспособность туристской отрасли, сформировать устойчивый культурный бренд страны и усилить роль креативных индустрий как одного из ключевых факторов развития культурного туризма.

Результаты исследования имеют практическое значение для разработки государственной политики в сфере туризма и креативной экономики, а также могут быть использованы при формировании региональных стратегий развития туризма и культурной инфраструктуры.

В процессе исследования инструменты искусственного интеллекта использовались исключительно в качестве вспомогательного средства для обработки текстовой информации и подготовки отдельных визуальных материалов. Анализ статистических данных, интерпретация результатов и формулирование выводов осуществлялись авторами самостоятельно.

Литература

1. Howkins J. The Creative Economy: How People Make Money from Ideas. //Penguin Global.- 2002.- 288 P. ISBN 10:0140287943.

2. Das S. The Rise of the Creative Class: Revisited//African Journal of Science, Technology, Innovation and Development. -2016.-Vol.8(5-6). -P.509-511. DOI 10.1080/20421338.2016.1256596.

3. United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). Creative Economy Outlook 2024. //UNCTAD.-2024.- Дата обращения: 07.12.2025

4. Tourism and Culture Synergies. // UNWTO. -2018. - 160 P.DOI 10.18111/9789284418978.

ISBN 978-92-844-1896-1, eISBN978-92-844-1897-8

5. The Culture Fix: Creative People, Places and Industries. //OECD. -2022.- 269 P. DOI 10.1787/991bb520-en. ISBN 978-92-64-59044-1 (print)

6. Концепция развития креативных индустрий Республики Казахстан на 2021-2025 годы. Постановление Правительства от 30 ноября 2021 года № 860. //Әділет.-URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2100000860.

7. Pine B. J., Gilmore J. H. The Experience Economy: Work Is Theatre and Every Business a Stage. // Harvard Business School Press. - Boston, 1998. - 254 P. - ISBN: 9780875848198.

8. Richards G., Wilson J. Developing Creativity in Tourist Experiences: A Solution to the Serial Reproduction of Culture? //Tourism Management. -2006.-Vol.27(6). -P.1209-1223. DOI 10.1016/j.tourman.2005.06.002.

9. Richards G. Creativity and Tourism: The State of the Art.// Annals of Tourism Research. -2011. Vol.38(4). -P.1225-1253. DOI 10.1016/j.annals.2011.07.008.

10. Бюро национальной статистики Республики Казахстан. Культура в Республике Казахстан статистический сборник. -2025. URL:

11. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан: «Количество посетителей въездного туризма по целям поездок», 2025. URL: обращения: 07.12.2026 г.

12. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. О выборочном обследовании въездных посетителей. Статистика туризма. Астана. URL: . -Дата обращения: 05.01.2026.

13. Re|Shaping Policies for Creativity: Addressing Culture as a Global Public Good. // UNESCO -2019. - URL: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380474.

14. Matteucci X., Von Zumbusch J. Theoretical framework for cultural tourism in urban and regional destinations. //SmartCulTourProject, Deliverable D2.1.-2020. DOI 10.5281/zenodo.4785433.

15. Duxbury N., Richards G. Towards a research agenda for creative tourism: developments, diversity, and dynamics. // n: A Research Agenda for Creative Tourism. -2019.-P.1-14. DOI 10.4337/9781788110723.00008.

References

1. Howkins J. The Creative Economy: How People Make Money from Ideas. //Penguin Global. - 2002.-P.288.ISBN-10:0140287943.

2. Das S. The Rise of the Creative Class: Revisited//African Journal of Science, Technology, Innovation and Development. -2016.-Vol.8(5-6). -P.509-511. DOI 10.1080/20421338.2016.1256596.

3. United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). Creative Economy Outlook 2024. //UNCTAD.-2024.-URL: Date accessed: 07.12.2025

4. Tourism and Culture Synergies. // UNWTO. -2018. - DOI 10.18111/9789284418978.

5. The Culture Fix: Creative People, Places and Industries. //OECD. -2022. DOI 10.1787/991bb520-en.

6. Koncepcija razvitija kreativnyh industrij Respubliki Kazahstan na 2021-2025 gody. Postanovlenie Pravitel’ stva ot 30 nojabrja 2021 goda № 860.//Ədilet.-URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2100000860. [in Russian]

7. Pine B. J., Gilmore J. H. The Experience Economy: Work Is Theatre and Every Business a Stage. // Harvard Business School Press. - Boston, 1998. - P.254. - ISBN: 9780875848198.

8. Richards G., Wilson J. Developing Creativity in Tourist Experiences: A Solution to the Serial Reproduction of Culture? //Tourism Management. -2006.-Vol.27(6).-P.1209-1223. DOI 10.1016/j.tourman.2005.06.002.

9. Richards G. Creativity and Tourism: The State of the Art.// Annals of Tourism Research. -2011. Vol.38(4). -P.1225-1253. DOI 10.1016/j.annals.2011.07.008.

10. Bjuro nacional’ noj statistiki Respubliki Kazahstan. Kul’ tura v Respublike Kazahstan statisticheskij sbornik. -2025. URL: https://stat.gov.kz/ru/industries/social-statistics/stat-culture/publications/341121/.-Data obrashhenija: 07.12.2025 [in Russian].

11. Bjuro nacional’ noj statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniju i reformam Respubliki Kazahstan: «Kolichestvo posetitelej v#ezdnogo turizma po celjam poezdok», 2025. URL: https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-tourism/dynamic-tables/.-Data obrashhenija: 07.12.2025 [in Russian].

12. Bjuro nacional’ noj statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniju i reformam Respubliki Kazahstan. O vyborochnom obsledovanii v#ezdnyh posetitelej. Statistika turizma. Astana. URL: https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-tourism/spreadsheets/. -Data obrashhenija: 05.01.2026. [in Russian].

13. Re|Shaping Policies for Creativity: Addressing Culture as a Global Public Good. // UNESCO -2019. - URL: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380474.

14. Matteucci X., Von Zumbusch J. Theoretical framework for cultural tourism in urban and regional destinations. //SmartCulTourProject, Deliverable D2.1.-2020. DOI 10.5281/zenodo.4785433.

15. Duxbury N., Richards G. Towards a research agenda for creative tourism: developments, diversity, and dynamics. // n: A Research Agenda for Creative Tourism. -2019.-P.1-14. DOI 10.4337/9781788110723.00008.

Сведения об авторах

Омаркожаева А.Н.- к.э.н., доцент, Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: asya_7510@mail.ru;

Жунусова А.А.- PhD, ассоциированный профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: aliya.zhunusova1983@mail.ru;

Ярдякова И.В. - PhD, ассоциированный профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: yard_ira@mail.ru;

Юсупова С.А.- кандидат экономических наук, Казахская национальная академия хореографии, Астана, Казахстан, e-mail: Abay.saltanat@bk.ru;

Ахметова Г.Б.- магистр экономических наук, Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: Galiya_hanum@mail.ru;

Муканова Б.Ш.-, магистр экономических наук, Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: balzhan0101@inbox.ru.

Information about the authors

Omarkozhayeva A.N. - Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: asya_7510@mail.ru;

Zhunusova A.A.- PhD, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: aliya.zhunusova1983@mail.ru;

Yardyakova I.V.- PhD, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: yard_ira@mail.ru;

Yusupova S.A.- Candidate of Economic Sciences, Kazakh National Academy of Choreography, Astana, Kazakhstan, e-mail: Abay.saltanat@bk.ru;

Akhmetova G. - Master of Economic Sciences, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: Galiya_hanum@mail.ru;

Mukanova B. - Master of Economic Sciences, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan e-mail: balzhan0101@inbox.ru.

МРНТИ 06.61.33 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1684**

РЕГИОНАЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН: СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ, ИНВЕСТИЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ АГРАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

С.А. Юсупова✉, М.С. Толысбаева, Г.Т. Кунафина, А.Ж. Касенова, Г.А. Мауина, Г.К. Нарбаева

Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан

✉ *Корреспондент-автор: Abay.saltanat@bk.ru*

В статье исследуются особенности региональной дифференциации сельского хозяйства Республики Казахстан в условиях пространственной неоднородности аграрного развития. Цель исследования заключается в анализе взаимосвязи между уровнем аграрной специализации, отраслевой структурой, инвестиционной активностью и экономической эффективностью сельского хозяйства регионов Казахстана. Информационную основу исследования составили официальные статистические данные Бюро национальной статистики Республики Казахстан за 2024 год, включая показатели валового регионального продукта, валового выпуска сельского хозяйства, рентабельности растениеводства и животноводства, а также инвестиций в основной капитал сельского, лесного и рыбного хозяйства. В работе использованы методы сравнительного, структурного, экономико-статистического и системного анализа. Проведенное исследование показало, что высокая доля сельского хозяйства в структуре экономики региона не всегда сопровождается высоким уровнем рентабельности аграрного производства. Выявлены существенные различия между регионами по сочетанию аграрной специализации, инвестиционной активности и эффективности сельского хозяйства. Так, разрыв между максимальной долей сельского хозяйства в ВРП (36,0% в Северо-Казахстанской области) и минимальной (0,03% в городах Астана и Алматы) превышает более чем 1000 раз, что свидетельствует о крайне высокой пространственной неоднородности аграрного сектора Казахстана.

На основе сопоставления исследуемых показателей предложена типология регионов Казахстана, включающая устойчивую аграрную, проблемную аграрную, инвестиционно-эффективную и слабоаграрную модели развития. Установлено, что инвестиционная активность выступает одним из ключевых факторов формирования региональной дифференциации сельского хозяйства и оказывает влияние на уровень модернизации и результативность аграрного производства. Практическая значимость исследования заключается в возможности использования результатов при разработке, дифференцированной региональной аграрной политики Республики Казахстан.

Ключевые слова: региональная дифференциация, сельское хозяйство, аграрная специализация, инвестиционная активность, рентабельность сельского хозяйства, аграрная политика, регионы Казахстана, аграрное производство.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫНЫҢ ӨҢІРЛІК ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯСЫ: АГРАРЛЫҚ МАМАНДАНУ, ИНВЕСТИЦИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІК ЖӘНЕ АГРАРЛЫҚ ӨНДІРІСТІҢ ТИІМДІЛІГІ

С.А. Юсупова✉, М.С. Толысбаева, Г.Т. Кунафина, А.Ж. Касенова, Г.А. Мауина, Г.К. Нарбаева

С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: Abay.saltanat@bk.ru

Мақалада аграрлық дамудың кеңістіктік әркелкілігі жағдайындағы Қазақстан Республикасы ауыл шаруашылығының өңірлік дифференциациясының ерекшеліктері зерттелген. Зерттеудің мақсаты

– Қазақстан өңірлеріндегі аграрлық мамандану деңгейі, салалық құрылым, инвестициялық белсенділік және ауыл шаруашылығы өндірісінің экономикалық тиімділігі арасындағы өзара байланысты талдау. Зерттеудің ақпараттық негізін 2024 жыл бойынша Қазақстан Республикасы Ұлттық статистика бюросының ресми статистикалық деректері құрады. Атап айтқанда, жалпы өңірлік өнім, ауыл шаруашылығының жалпы шығарылымы, өсімдік және мал шаруашылығының рентабельділігі, сондай-ақ ауыл, орман және балық шаруашылығына салынған негізгі капитал инвестициялары пайдаланылды. Зерттеу барысында салыстырмалы, құрылымдық, экономикалық-статистикалық және жүйелік талдау әдістері қолданылды. Зерттеу нәтижелері өңір экономикасындағы ауыл шаруашылығы үлесінің жоғары болуы әрдайым аграрлық өндірістің жоғары рентабельділігімен сәйкес келмейтінін көрсетті. Өңірлер арасында аграрлық мамандану, инвестициялық белсенділік және ауыл шаруашылығы тиімділігінің үйлесуі бойынша елеулі айырмашылықтар анықталды.

Зерттелген көрсеткіштерді салыстыру негізінде Қазақстан өңірлерінің тұрақты аграрлық, проблемалық аграрлық, инвестициялық-тиімді және әлсіз аграрлық даму модельдерін қамтитын типологиясы ұсынылды. Инвестициялық белсенділік ауыл шаруашылығының өңірлік дифференциациясын қалыптастыратын негізгі факторлардың бірі екендігі және аграрлық өндірістің жаңғыртылуы мен нәтижелілігіне әсер ететіні анықталды. Зерттеу нәтижелері Қазақстан Республикасының сараланған өңірлік аграрлық саясатын әзірлеу барысында қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: өңірлік дифференциация, ауыл шаруашылығы, аграрлық мамандану, инвестициялық белсенділік, ауыл шаруашылығының рентабельділігі, аграрлық саясат, Қазақстан өңірлері, аграрлық өндіріс

REGIONAL DIFFERENTIATION OF AGRICULTURE IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN: AGRICULTURAL SPECIALIZATION, INVESTMENT ACTIVITY, AND EFFICIENCY OF AGRICULTURAL PRODUCTION

S.A. Yussupova✉, M.S. Tolysbayeva, A.Zh. Kasenova, G.T. Kunafina, C.A. Mauina, G.K. Narbaeva

S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Kazakhstan,
e-mail: Abay.saltanat@bk.ru

The article examines the features of regional differentiation of agriculture in the Republic of Kazakhstan under conditions of spatial heterogeneity of agrarian development. The purpose of the study is to analyze the relationship between the level of agricultural specialization, sectoral structure, investment activity, and economic efficiency of agriculture in the regions of Kazakhstan. The study is based on official statistical data of the Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan for 2024, including indicators of gross regional product, gross agricultural output, profitability of crop and livestock production, as well as investments in fixed capital in agriculture, forestry, and fisheries. The research employs comparative, structural, economic-statistical, and systemic analysis methods. The results show that a high share of agriculture in the regional economy does not always correspond to a high level of agricultural profitability. Significant regional differences were identified in the combination of agricultural specialization, investment activity, and efficiency of agricultural production.

Based on the comparison of the studied indicators, a typology of Kazakhstan's regions was proposed, including sustainable agricultural, problematic agricultural, investment-efficient, and weakly agricultural development models. It was established that investment activity is one of the key factors shaping regional differentiation in agriculture and significantly affects the modernization and efficiency of agricultural production. The practical significance of the study lies in the possibility of using the results in the development of a differentiated regional agricultural policy in the Republic of Kazakhstan.

Keywords: regional differentiation, agriculture, agricultural specialization, investment activity, agricultural profitability, agricultural policy, regions of Kazakhstan, agricultural production

Введение. В условиях усиливающейся пространственной неоднородности экономики вопросы региональной дифференциации сельского хозяйства приобретают особую актуальность. Для Республики Казахстан данная проблема имеет стратегическое значение вследствие значительной территориальной протяженности страны, контрастности природно-климатических условий и различий в уровне социально-экономического развития регионов. Сельское хозяйство остается одним из ключевых секторов национальной экономики, обеспечивая продовольственную безопасность, занятость сельского населения и развитие сельских территорий. Вместе с тем эффективность аграрного производства и роль сельского хозяйства в региональной экономике существенно различаются между областями страны.

Современное развитие сельского хозяйства Казахстана характеризуется неодинаковыми темпами технологической модернизации, различиями в инвестиционной активности и отраслевой специализации регионов. Северные области ориентированы преимущественно на зерновое производство и отличаются более высоким уровнем механизации, тогда как южные регионы специализируются на трудоемком орошаемом земледелии и в большей степени зависят от водных ресурсов и климатических факторов. В западных регионах преобладает животноводческая специализация, обусловленная природно-ресурсными ограничениями развития растениеводства. Подобные различия формируют неоднородные модели аграрного развития и оказывают влияние на уровень рентабельности, инвестиционной активности и устойчивости сельского хозяйства.

В научной литературе региональная дифференциация сельского хозяйства рассматривается как результат воздействия совокупности природно-климатических, инфраструктурных, институциональных и экономических факторов. Однако для Казахстана вопросы сопоставления аграрной специализации, инвестиционной активности и экономической эффективности регионов остаются недостаточно исследованными. Большинство существующих работ сосредоточено либо на анализе отдельных отраслей сельского хозяйства, либо на проблемах развития сельских территорий, тогда как комплексная оценка моделей аграрного развития регионов представлена ограниченно.

В этой связи целью исследования является анализ региональной дифференциации сельского хозяйства Республики Казахстан на основе сопоставления уровня аграрной специализации, отраслевой структуры, рентабельности и инвестиционной активности регионов.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

- исследовать теоретические подходы к анализу региональной дифференциации сельского хозяйства;

- оценить роль сельского хозяйства в структуре экономики регионов Казахстана;

- проанализировать отраслевую структуру аграрного производства и уровень рентабельности сельского хозяйства;

- выявить взаимосвязь между аграрной специализацией, инвестиционной активностью и экономической эффективностью регионов;

- предложить типологию регионов Казахстана по моделям аграрного развития.

Гипотеза исследования заключается в предположении о том, что региональная дифференциация сельского хозяйства Казахстана определяется не только различиями природно-ресурсных условий и степенью аграрной специализации регионов, но и неодинаковым уровнем инвестиционной активности и технологической модернизации, оказывающих влияние на эффективность аграрного производства.

Научная новизна исследования заключается в комплексном сопоставлении показателей аграрной специализации, рентабельности и инвестиционной активности регионов Республики Казахстан, а также в предложенной типологии моделей аграрного развития, отражающей различия в уровне эффективности и устойчивости сельского хозяйства регионов страны.

Практическая значимость исследования состоит в возможности использования полученных результатов при разработке региональной аграрной политики, распределении мер государственной поддержки и формировании направлений технологической модернизации сельского хозяйства Республики Казахстан.

Материалы и методы. Исследование направлено на выявление особенностей региональной дифференциации сельского хозяйства Республики Казахстан и определение взаимосвязи между уровнем аграрной специализации, инвестиционной активностью и экономической эффективностью регионов.

Исследовательский вопрос заключается в определении того, каким образом различия в отраслевой структуре сельского хозяйства, инвестиционной активности и уровне рентабельности влияют на формирование различных моделей аграрного развития регионов Казахстана.

Гипотеза исследования основывается на предположении о том, что региональная дифференциация сельского хозяйства Казахстана определяется не только природно-климатическими особенностями и степенью аграрной специализации территорий, но и различиями в инвестиционной активности и уровне технологической модернизации аграрного производства.

Информационную основу исследования составили официальные статистические данные Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан за 2024 год, включая показатели валового регионального продукта, валового выпуска сельского хозяйства, отраслевой структуры аграрного производства, рентабельности растениеводства и животноводства, а также инвестиции в основной капитал сельского, лесного и рыбного хозяйства. В исследовании использованы данные по 17 областям Республики Казахстан и городам республиканского значения.

Исследование проводилось в несколько этапов. На первом этапе был выполнен анализ научной литературы, посвященной вопросам региональной дифференциации сельского хозяйства и факторам пространственной неоднородности аграрного развития. На втором этапе осуществлен сбор и систематизация статистических данных по регионам Республики Казахстан. На третьем этапе проведен сравнительный анализ показателей аграрной специализации, отраслевой структуры, рентабельности и инвестиционной активности регионов. На заключительном этапе выполнена типологизация регионов по моделям аграрного развития.

В ходе исследования использовались методы системного, сравнительного, структурного и экономико-статистического анализа. Для оценки уровня аграрной специализации применялся расчет доли сельского хозяйства в структуре валового регионального продукта регионов. Анализ отраслевой структуры сельского хозяйства проводился на основе сопоставления показателей растениеводства и животноводства. Для выявления различий в эффективности аграрного производства использовались показатели рентабельности сельского хозяйства в целом и его отдельных отраслей. Сопоставление инвестиционной активности регионов осуществлялось посредством анализа доли регионов в инвестициях в основной капитал сельского хозяйства. Для визуализации и систематизации результатов применялся метод типологической матрицы моделей аграрного развития.

Результаты исследования позволили выявить устойчивые различия между регионами Казахстана по уровню аграрной специализации, инвестиционной активности и экономической эффективности сельского хозяйства, а также выделить основные модели аграрного развития регионов страны.

Результаты и обсуждение. Региональная дифференциация сельского хозяйства рассматривается как закономерное проявление неоднородности экономического пространства, при котором различия природных, ресурсных и институциональных условий формируют неодинаковые модели аграрного развития территорий. Уровень развития сельского хозяйства определяется не только обеспеченностью земельными

и природными ресурсами, но и степенью технологической модернизации, доступом к инфраструктуре, финансовым ресурсам и агропродовольственным рынкам [1–3].

В зарубежной научной литературе значительное внимание уделяется влиянию государственной аграрной политики на межрегиональные различия. Исследования OECD и Всемирного банка показывают, что механизмы государственной поддержки, распределение ресурсов и качество институциональной среды способны как сглаживать, так и усиливать территориальные диспропорции аграрного развития [4–6].

При этом экономический рост сельского хозяйства не всегда сопровождается выравниванием регионального развития. Территории, располагающие более благоприятными условиями для внедрения инноваций и модернизации производства, как правило, быстрее адаптируются к изменениям аграрного рынка, что способствует усилению пространственной дифференциации [7].

Существенную роль в формировании межрегиональных различий играет и отраслевая структура сельского хозяйства. Международные исследования свидетельствуют о том, что специализация регионов на растениеводстве или животноводстве влияет на уровень доходности, устойчивость производства и степень зависимости аграрного сектора от природно-климатических факторов [8].

Развитие теории региональной дифференциации сельского хозяйства получило отражение и в работах российских и постсоветских исследователей. А.В. Петриков связывает устойчивость межрегиональных различий со спецификой аграрной политики и особенностями специализации территорий [9]. В исследованиях О. Горбатовской внимание акцентируется на систематизации факторов и показателей оценки территориальной дифференциации сельского хозяйства [10]. В свою очередь, Е.В. Смирнова и Е.П. Гусева подчеркивают усиление технологической поляризации аграрного сектора вследствие различий в модернизации производства и внедрении инноваций [11].

Для Республики Казахстан проблема региональной дифференциации сельского хозяйства имеет особое значение вследствие значительной территориальной протяженности страны, контрастности природно-климатических зон и неодинакового уровня освоенности сельских территорий. В отличие от многих стран с более однородной аграрной структурой, сельское хозяйство Казахстана характеризуется выраженными различиями в специализации, инфраструктурной обеспеченности и устойчивости регионов.

Казахстанские исследования в большей степени ориентированы на анализ территориальных особенностей развития сельских территорий и аграрной инфраструктуры. Так, Л.С. Таршилова рассматривает пространственную неоднородность аграрного производства как результат сочетания природно-климатических и социально-экономических условий развития регионов [12]. Гиззатова А.И., Жумашева С.Т. и Байтаева Г.Р. связывают развитие сельских территорий с реализацией аграрной политики, обращая внимание на значение инфраструктурной обеспеченности, доступности социальных услуг и уровня экономической активности регионов [13].

Вопросы устойчивого развития сельского хозяйства Казахстана раскрываются также в исследованиях Беспаевой Р.С., Карабасова Р.А., Нурмухаметова Н.Н. и Бугубаевой Р.О., посвященных региональным аспектам органического сельского хозяйства. В данной работе акцент сделан на экологических предпосылках, технологических условиях и институциональных возможностях развития органического производства в регионах Казахстана [14].

Отдельное направление исследований связано с трансформацией сельской инфраструктуры и адаптацией аграрного сектора к климатическим изменениям. В работе Куралбаевой А.Ш., Жусиповой Э.Е. и Есенбек Ч.Н. отмечается, что развитие сельской инфраструктуры в Казахстане имеет выраженный региональный характер: северные регионы обладают более устойчивыми условиями аграрного развития, тогда как западные территории остаются более уязвимы-

ми вследствие дефицита водных ресурсов и климатических ограничений [15].

Таким образом, проведенный обзор научной литературы показывает, что региональная дифференциация сельского хозяйства формируется под воздействием совокупности природно-климатических, инфраструктурных, институциональных и технологических факторов. В условиях Казахстана данные различия проявляются особенно отчетливо вследствие значительной территориальной протяженности страны и неодинаковой специализации регионов. Это обусловливает необходимость анализа пространственной структуры сельского хозяйства Республики Казахстан с учетом особенностей отраслевой специализации, уровня развития аграрного производства и различий в эффективности регионов.

Сельское хозяйство Республики Казахстан характеризуется выраженной территориальной неоднородностью. Северные области (Акмолинская, Костанайская, Северо-Казахстанская) формируют основу зернового производства страны и обеспечивают значительную долю валового сбора зерновых культур. Для данных регионов характерны высокая степень механизации и крупнотоварная организация производства, что положительно влияет на показатели эффективности.

Южные регионы (Туркестанская, Жамбылская, Алматинская области) специализируются преимущественно на орошаемом земледелии и производстве овощей, фруктов и технических культур. Вместе с тем высокая трудоемкость производства и зависимость от водных ресурсов усиливают уязвимость аграрного сектора к климатическим и инфраструктурным ограничениям.

Западные регионы Казахстана в большей степени ориентированы на животноводство, что обусловлено ограниченными возможностями развития растениеводства. Данная специализация обеспечивает относительную устойчивость производства, однако сопровождается более низкими показателями эффективности использования ресурсов.

Сложившиеся различия свидетельствуют о неодинаковой роли сельского хозяйства в экономике регионов и формируют различные модели аграрного развития. В этой связи возникает необходимость количественной оценки межрегиональных различий, позволяющей определить степень отраслевой специализации регионов и выявить существующие диспропорции в развитии аграрного сектора.

Сопоставление валового регионального продукта и валового выпуска сельского хозяйства позволяет оценить роль аграрного сектора в экономике регионов Республики Казахстан и определить степень их сельскохозяйственной специализации (таблица 1).

Таблица 1 - Доля сельского хозяйства в структуре ВРП регионов Республики Казахстан (2024 г.)

Регион	ВРП, млн тг	С/х выпуск, млн тг	Доля с/х, %
Республика Казахстан	136 693 318	8 363 603	6,1
Абай	3 248 624	464 040	14,3
Акмолинская	4 200 170	976 150	23,2
Актюбинская	4 960 038	371 466	7,5
Алматинская	6 040 608	682 277	11,3
Атырауская	14 981 586	124 368	0,8
Западно-Казахстанская	4 722 419	293 845	6,2

Жамбылская	3 150 409	476 172	15,1
Жетiсу	2 227 944	437 205	19,6
Карагандинская	9 059 477	477 737	5,3
Костанайская	3 969 559	754 940	19
Кызылординская	3 073 851	228 000	7,4
Мангистауская	5 005 139	37 253	0,7
Павлодарская	5 150 822	475 386	9,2
Северо-Казахстанская	2 621 212	942 956	36,0
Туркестанская	4 673 463	1 019 792	21,8
Улытау	2 487 597	68 069	2,7
Восточно-Казахстанская	5 035 142	468 190	9,3
г. Астана	15 051 922	4 664	0,03
г. Алматы	31 294 466	8 214	0,03
г. Шымкент	4 738 865	52 872	1,1
Примечание – составлено авторами на основании статистических данных [16]			

Расчет доли сельского хозяйства в структуре ВРП позволяет оценить не столько объем аграрного производства, сколько его значение для экономики конкретного региона. Полученные данные показывают, что в Казахстане сформировались разные типы регионов по степени зависимости от аграрного сектора.

К первой группе относятся регионы с высокой аграрной специализацией, где сельское хозяйство занимает значимое место в формировании валового регионального продукта. Наиболее выраженно это проявляется в Северо-Казахстанской области, где доля сельского хозяйства достигает 36,0%. Высокие значения также характерны для Акмолинской области (23,2%), Туркестанской области (21,8%), области Жетiсу (19,6%) и Костанайской области (19,0%). Для этих территорий аграрный сектор выполняет не только производственную, но и структурообразующую функцию, влияя на занятость, развитие сельских территорий и устойчивость региональной экономики.

Вторая группа представлена регионами со смешанной структурой экономики, где сельское хозяйство сохраняет заметное значение, но не является доминирующим сектором. К ним можно отнести Жамбылскую область (15,1%), область Абай (14,3%), Алматинскую область (11,3%), Восточно-Казахстанскую (9,3%), Павлодарскую (9,2%), Актюбинскую (7,5%) и Кызылординскую области (7,4%). В данных регионах аграрное производство развивается наряду с промышленностью, переработкой, торговлей и другими видами экономической деятельности.

Третью группу формируют территории с низкой долей сельского хозяйства в ВРП. Это прежде всего индустриальные и сырьевые регионы, где структура экономики определяется добывающими отраслями: Атырауская область (0,8%), Мангистауская область (0,7%), Улытауская область (2,7%), а также города республиканского значения — Астана, Алматы и Шымкент. Низкое значение показателя в данных регионах не означает отсутствия аграрного производства, но указывает на его ограниченную роль в региональной экономике по сравнению с промышленностью, услугами и добывающим сектором.

Таким образом, доля сельского хозяйства в ВРП позволяет выделить регионы с разной степенью аграрной зависимости. Это важно для

дальнейшего анализа, поскольку высокая доля сельского хозяйства не всегда означает высокую эффективность производства. Она лишь показывает место аграрного сектора в экономической структуре региона, поэтому дальнейшая оценка должна быть дополнена анализом отраслевой структуры и показателей рентабельности.

Анализ структуры валового выпуска продукции растениеводства и животноводства показывает, что в Казахстане сформировались различные модели аграрной специализации регионов.

Для северных регионов страны (Северо-Казахстанская, Костанайская, Акмолинская области) характерно преобладание растениеводства. Данные территории формируют основу зернового производства Республики Казахстан и обеспечивают значительную долю валового выпуска продукции растениеводства в общереспубликанском объеме. Сложившаяся специализация обусловлена сочетанием благоприятных почвенно-климатических условий, высокой степенью механизации и крупнотоварным характером производства.

В южных и восточных регионах страны аграрная структура является более диверсифицированной, при этом возрастает значение животноводства. В Туркестанской, Алматинской и Восточно-Казахстанской областях существенную роль играют животноводческое направление, производство кормовой базы и переработка сельскохозяйственной продукции. Подобная структура связана как с природно-климатическими особенностями территорий, так и с исторически сложившейся специализацией сельского хозяйства.

В ряде регионов, включая Жамбылскую, область Жетiсу и Карагандинскую области, наблюдается сравнительно сбалансированное соотношение растениеводства и животноводства, что формирует более диверсифицированную модель аграрного производства и снижает зависимость сельского хозяйства от колебаний отдельных отраслей.

Можно отметить, что региональная дифференциация сельского хозяйства Казахстана проявляется не только в различиях масштабов аграрного производства, но и в неодинаковой отраслевой структуре регионов. Сложившиеся модели специализации оказывают непосредственное влияние на уровень устойчивости и экономической эффективности аграрного сектора.

Сопоставление уровня рентабельности сельского хозяйства в целом и его основных отраслей по регионам Республики Казахстан за 2024 год позволяет выявить различия в моделях формирования экономической эффективности аграрного производства.

В среднем по республике рентабельность растениеводства (26,5%) превышает показатели животноводства (22,6%), что свидетельствует о более высокой доходности данной отрасли. Однако на региональном уровне данная зависимость проявляется неодинаково. В ряде регионов, включая Актюбинскую, Абай и Кызылординскую области, основным источником рентабельности выступает растениеводство, где показатели достигают 40–56%. При этом эффективность животноводства остается существенно ниже, что отражает выраженную отраслевую асимметрию аграрного производства.

Иная ситуация наблюдается в Атырауской и Павлодарской областях, где более высокий уровень рентабельности характерен для животноводства. В Атырауской области рентабельность животноводства достигает 56,1%, а в Павлодарской — 47,2%, что существенно превышает показатели растениеводства в данных регионах. Это свидетельствует о высокой значимости животноводческой специализации в формировании прибыли аграрного сектора. В целом рентабельность сельского хозяйства в Павлодарской области достигает 41,8%, что более чем в 8 раз превышает показатель Жамбылской области (4,9%).

Для Костанайской и Северо-Казахстанской областей характерно сравнительно близкое соотношение показателей рентабельности растениеводства и животноводства. Это свидетельствует о более сбалансированной структуре сельского хозяйства и потенциально большей устойчивости аграрного производства.

Одновременно в отдельных регионах, прежде всего в Жамбылской и Алматинской областях, сохраняется низкий уровень рентабельности по обоим направлениям. Подобная ситуация может быть связана с высокой затратностью производства, технологическими ограничениями и зависимостью сельского хозяйства от природно-климатических условий (рисунок 1).

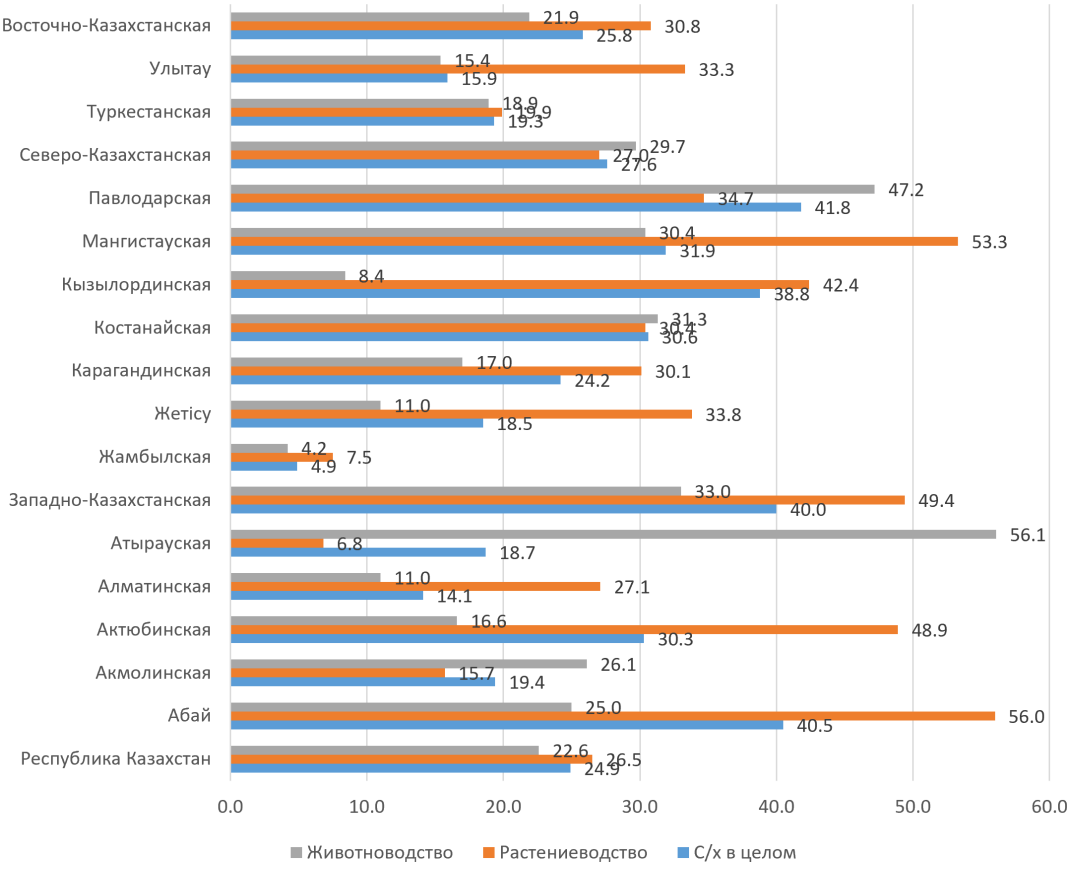


Рис.1 - Сравнительный уровень рентабельности сельского хозяйства по регионам Республики Казахстан (2024 г.), %

Примечание – составлено авторами на основании статистических данных [17]

Результаты анализа показывают, что высокая доля сельского хозяйства в экономике региона и даже выраженная отраслевая специализация не всегда обеспечивают высокий уровень экономической эффективности. В ряде случаев наблюдается рассогласование между структурой аграрного производства и его результативностью.

Следовательно, региональная дифференциация сельского хозяйства Казахстана формируется под воздействием не только природно-ресурсных факторов, но и различий в технологическом уровне, структуре затрат и эффективности использования производственных ресурсов.

Существенное влияние на уровень эффективности аграрного производства оказывает инвестиционная активность в сельском хозяйстве. Анализ инвестиций в основной капитал показывает, что в 2024 году объем вложений в сельское, лесное и рыбное хозяйство составил 36,7 млрд тенге, что на 88,6% превышает уровень предыдущего года. При этом основная часть инвестиций была направлена в растениеводство и животноводство, на которые пришлось свыше 35 млрд тенге.

Наиболее высокий темп роста инвестиций наблюдался в животноводстве, где объем вложений увеличился более чем в два раза и достиг 15,7 млрд тенге. Существенный рост также за-

фиксирован в смешанном сельском хозяйстве, что свидетельствует об усилении интереса к диверсифицированным моделям аграрного производства.

Структура источников финансирования показывает доминирование собственных средств предприятий, объем которых в сельском хозяйстве превысил 28,3 млрд тенге. Доля заемного финансирования остается сравнительно ограниченной, что указывает на сохраняющуюся зависимость аграрного сектора от внутренних инвестиционных ресурсов и ограниченный доступ части хозяйств к кредитным инструментам.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что инвестиционная активность в сельском хозяйстве Казахстана постепенно возрастает, однако ее структура остается неоднородной. Различия в инвестиционной обеспеченности отраслей и регионов оказывают непосредственное влияние на уровень технологической модернизации, производительности и рентабельности аграрного производства.

Для более детального анализа взаимосвязи аграрной специализации, рентабельности и инвестиционной активности были отобраны регионы, отражающие различные модели развития сельского хозяйства Республики Казахстан. В выборку включены Северо-Казахстанская, Жамбылская, Павлодарская, Туркестанская и Кызылординская области, различающиеся по уровню аграрной специализации, структуре производства, экономической эффективности и инвестиционной активности. Выбор указанных регионов обусловлен необходимостью сопоставления различных моделей аграрного развития, сформировавшихся в Республике Казахстан. В исследование включены регионы, отражающие устойчивую аграрную, проблемную аграрную, инвестиционно-эффективную, южную трудоемкую и модернизирующуюся модели развития сельского хозяйства, что позволяет более полно выявить особенности региональной дифференциации аграрного сектора страны (таблица 2).

Таблица 2 - Сопоставление показателей аграрной специализации, рентабельности и инвестиционной активности отдельных регионов Республики Казахстан

Регион	Доля с/х в ВРП, %	Доля региона в выпуске с/х продукции, %	Рентабельность с/х, %	Доля региона в инвестициях в с/х, %
Северо-Казахстанская	36	11,3	27,6	22,2
Жамбылская	15,1	5,7	4,9	1,4
Павлодарская	9,2	5,7	41,8	20,3
Туркестанская	21,8	12,2	19,3	5,7
Кызылординская	7,4	2,7	38,8	14,7
Примечание - составлено авторами				

Проведенное сопоставление показывает, что между уровнем аграрной специализации, инвестиционной активностью и рентабельностью сельского хозяйства не наблюдается прямой линейной зависимости. Региональная дифференциация проявляется не только в масштабах аграрного производства, но и в различиях технологической модернизации, инвестиционной насыщенности и результативности сельского хозяйства.

Северо-Казахстанская область демонстрирует наиболее устойчивую модель аграрного развития среди рассматриваемых регионов. Здесь сосредоточена максимальная доля сельского хо-

зяйства в структуре ВРП - 36%, при этом область обеспечивает 11,3% общереспубликанского выпуска сельскохозяйственной продукции. Высокий уровень инвестиционной активности (22,2%) сочетается с рентабельностью сельского хозяйства на уровне 27,6%. Это указывает на сравнительно устойчивую эффективность аграрного производства. Существенное влияние на такие результаты оказывает зерновая специализация, высокий уровень механизации и преобладание крупнотоварных хозяйств.

Иная ситуация складывается в Павлодарской области. Несмотря на то, что доля сельского хозяйства в структуре ВРП составляет 9,2%, область отличается высокой инвестиционной активностью - 20,3% от общего объема инвестиций в сельское хозяйство. Одновременно здесь зафиксирован максимальный уровень рентабельности среди рассматриваемых регионов - 41,8%. Это позволяет предположить, что технологическая оснащенность и модернизация производства обеспечивают более эффективное использование ресурсов аграрного сектора.

Для Жамбылской области характерна противоположная ситуация. При достаточно высокой роли сельского хозяйства в экономике региона (15,1% ВРП) инвестиционная активность остается низкой - только 1,4% от общего объема инвестиций в сельское хозяйство. Одновременно уровень рентабельности не превышает 4,9%, что является одним из самых низких показателей среди анализируемых регионов. Такое соотношение может указывать на инфраструктурные ограничения, высокую затратность производства и зависимость сельского хозяйства от природно-климатических условий.

Туркестанская область занимает особое место в структуре аграрного производства Казахстана, формируя 12,2% общереспубликанского выпуска сельскохозяйственной продукции. Вместе с тем показатели рентабельности и инвестиционной активности остаются умеренными. Во многом это связано со спецификой южной модели сельского хозяйства, для которой характерны высокая трудоемкость, зависимость от орошаемого земледелия и значительное влияние водных ресурсов на устойчивость производства.

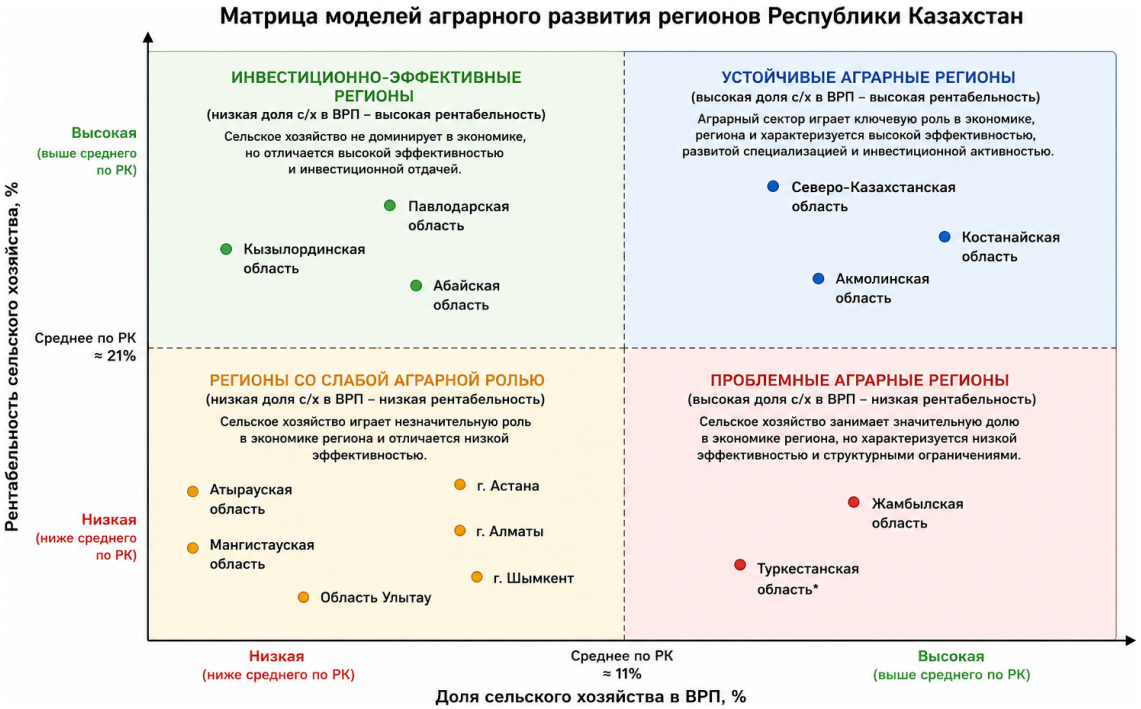


Рис.2 - Матрица моделей аграрного развития регионов Республики Казахстан

Примечание - рисунок разработан авторами с использованием технологий искусственного интеллекта

Кызылординская область демонстрирует признаки активизации процессов модернизации аграрного сектора. Несмотря на сравнительно небольшую долю сельского хозяйства в структуре ВРП (7,4%), область характеризуется высоким уровнем рентабельности - 38,8%, а также значительной долей в общереспубликанских инвестициях в сельское хозяйство (14,7%). Это позволяет говорить о постепенном повышении эффективности аграрного производства и усилении инвестиционной активности.

Полученные результаты свидетельствуют о существенных различиях в сочетании аграрной специализации, инвестиционной активности и эффективности сельского хозяйства регионов Казахстана. Для более наглядной систематизации выявленных различий регионы были распределены по типам аграрного развития (рисунок 2).

К первой группе относятся регионы с высокой долей сельского хозяйства в структуре ВРП и одновременно высоким уровнем рентабельности аграрного производства. Для данных территорий характерна устойчивая аграрная модель развития, основанная на сравнительно высокой производительности, развитой специализации и более высокой инвестиционной активности. В данную группу входят прежде всего Северо-Казахстанская и Костанайская области.

Вторая группа объединяет регионы с высокой аграрной специализацией, но сравнительно низким уровнем рентабельности сельского хозяйства. Подобная ситуация свидетельствует о наличии структурных ограничений развития аграрного сектора, включая высокую затратность производства, зависимость от природно-климатических условий и недостаточный уровень технологической модернизации. Наиболее характерным примером данной модели является Жамбылская область.

Третья группа представлена регионами с относительно невысокой долей сельского хозяйства в ВРП, но высоким уровнем рентабельности аграрного производства. Для таких территорий сельское хозяйство не является доминирующим сектором экономики, однако отличается сравнительно высокой эффективностью и инвестиционной отдачей. В данную группу можно отнести Павлодарскую и Кызылординскую области.

Четвертая группа включает регионы с низкой долей сельского хозяйства в структуре экономики и одновременно невысокой эффективностью аграрного производства. В данных территориях сельское хозяйство играет вспомогательную роль и существенно уступает промышленности, добывающему сектору или сфере услуг. Подобная модель характерна прежде всего для индустриальных и сырьевых регионов страны.

Таким образом, проведенная типология подтверждает, что региональная дифференциация сельского хозяйства Казахстана проявляется не только в различиях масштабов аграрного производства, но и в неодинаковом сочетании специализации, эффективности и инвестиционной активности регионов. Это указывает на необходимость формирования более дифференцированной региональной аграрной политики с учетом специфики отдельных моделей развития сельского хозяйства.

Выводы. Проведенное исследование подтвердило наличие выраженной региональной дифференциации сельского хозяйства Республики Казахстан, обусловленной различиями в уровне аграрной специализации, отраслевой структуре, инвестиционной активности и эффективности аграрного производства.

В ходе исследования установлено, что высокая доля сельского хозяйства в структуре валового регионального продукта не всегда сопровождается высоким уровнем рентабельности аграрного производства. Это свидетельствует о неодинаковом уровне технологической модернизации, инвестиционной обеспеченности и эффективности использования производственных ресурсов в различных регионах страны.

На основе сопоставления показателей аграрной специализации, рентабельности и инвестиционной активности предложена типология регионов Казахстана, включающая устойчивую аграрную, проблемную аграрную, инвестиционно-

эффективную и слабоаграрную модели развития. В отличие от традиционного подхода, основанного преимущественно на оценке объемов сельскохозяйственного производства, предложенная типология учитывает взаимосвязь экономической эффективности и инвестиционной активности аграрного сектора.

Установлено, что наиболее устойчивыми являются северные зерновые регионы, где высокая аграрная специализация сочетается со сравнительно высокой рентабельностью и инвестиционной активностью. В то же время выявлены регионы с высокой зависимостью от сельского хозяйства, но низкой экономической эффективностью аграрного производства, что указывает на наличие инфраструктурных и технологических ограничений развития.

Результаты исследования показывают, что инвестиционная активность выступает одним из ключевых факторов формирования региональной дифференциации сельского хозяйства Казахстана, оказывая влияние на уровень модернизации и результативность аграрного производства.

В практическом аспекте результаты исследования могут быть использованы при разработке, дифференцированной региональной аграрной политики, ориентированной на особенности специализации, инвестиционной обеспеченности и эффективности сельского хозяйства отдельных регионов Республики Казахстан.

В целях снижения межрегиональной дифференциации сельского хозяйства Республики Казахстан целесообразно формирование дифференцированной аграрной политики с учетом специфики отдельных моделей регионального развития. Для регионов с высокой аграрной специализацией и низким уровнем рентабельности приоритетное значение имеют технологическая модернизация, развитие инфраструктуры хранения и переработки продукции, а также расширение доступа к инвестиционным ресурсам. Для инвестиционно-эффективных регионов целесообразно стимулирование масштабирования успешных практик модернизации и внедрения цифровых технологий. В южных аграрных регионах особую значимость приобретают меры по развитию водосберегающих технологий и повышению устойчивости орошаемого земледелия. Для индустриальных и слабоаграрных регионов актуальным направлением остается поддержка нишевых направлений сельского хозяйства и развитие локальных продовольственных систем.

В процессе подготовки отдельных элементов визуализации и структурирования аналитических материалов использовались технологии искусственного интеллекта.

Литература

1. Agricultural Development New Perspectives in a Changing World Otsuka K., Fan S. (eds.). Agricultural Development: New Perspectives in a Changing World. – Washington, DC: International Food Policy Research Institute, 2021. - 768 p. DOI 10.2499/9780896293830

2. Handbook of Agricultural Economics Barrett C.B., Just D.R. (eds.). Handbook of Agricultural Economics. - Amsterdam: Elsevier, 2021.- 818 p. ISBN 9780323915014

3. Economics of Agricultural Development World Food Systems and Resource Use Norton G.W., Alwang J., Masters W.A. Economics of Agricultural Development: World Food Systems and Resource Use. - 4th ed. - London: Routledge, 2021. - 474 p. ISBN 9780429316999 DOI 10.4324/9780429316999.

4. OECD Agricultural Policy Monitoring and Evaluation report OECD. Agricultural Policy Monitoring and Evaluation. - Paris: OECD Publishing, 2023. – 420 p. - https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2023/10/agricultural-policy-monitoring-and-evaluation-2023_7cc05c6a/b14de474-en.pdf. - Дата обращения: 07.01.2026.

5. World Development Report 2008: Agriculture for Development. – Washington, DC: World Bank, 2007. – 365 p. World Bank.2007. World Development Report 2008: Agriculture for Development. ©

World Bank. http://hdl.handle.net/10986/5990 License: CC BY 3.0 IGO.” Digital Object Identifier DOI 10.1596/978-0-8213-6807-7.

6. Enabling the Business of Agriculture 2019. – Washington, DC: World Bank, 2019. - 260 p. https://documents1.worldbank.org/curated/en/806771571717730416/pdf/Enabling-the-Business-of-Agriculture-2019.pdf. - Дата обращения: 07.01.2026.

7. Is small, beautiful Farm size productivity and poverty in Asian Agriculture Fan S., Chan-Kang C. Is small beautiful? Farm size, productivity, and poverty in Asian agriculture // Agricultural Economics. - 2005. - Vol.32(1). -P.135-146. DOI 10.1111/j.0169-5150.2004.00019.x

8. The State of Food and Agriculture 2022. FAO. The State of Food and Agriculture 2022: Leveraging Agricultural Automation for Transforming Agrifood Systems. - Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2022. - 210 p. ISBN 978-92-5-136043-9

9. Петриков А. В. Региональная дифференциация сельского хозяйства в России и современная аграрная политика //Федерализм. - 2022. -Т.27.- № 3(107). - С.89–108. DOI 10.21686/2073-1051-2022-3-89-108.

10. Горбатовская О. Факторы и методы оценки территориальной дифференциации сельскохозяйственного производства // Аграрная экономика. -2017. - № 6. - С.18–29.

11. Смирнова Е. В., Гусева Е. П. Дифференциация регионов в сельскохозяйственном секторе экономики в условиях технологической модернизации // Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление. -2025. - № 4(116). - С.26–39. DOI 10.24866/2311–2271/2025–4/2220.

12. Таршилова Л. С. Территориальная дифференциация развития сельскохозяйственного производства региона // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2015. - № 4–2. - С. 243–246.

13. Гиззатова А. И., Жумашева С. Т., Байтаева Г.Р. Развитие сельских территорий: основа реализации аграрной политики//Проблемы агрорынка. -2024. - № 3. -С.14-26. DOI 10.46666/2024–3.2708–9991.01.

14. Беспаева Р. С., Карабасов Р.А., Нурмухаметов Н.Н., Бугубаева Р. О. Устойчивое развитие органического сельского хозяйства Казахстана (региональный аспект) // Экономика: стратегия и практика. - 2022. - Т. 17(4). - С.92–111. DOI 10.51176/1997-9967-2022-4-92-111.

15. Куралбаева А. Ш., Жусипова Э. Е., Есенбек Ч.Н. Трансформация сельской инфраструктуры и адаптация к климатическим изменениям // Qainar Journal of Social Science. - 2026. -Т.5(1). - С.143–175. DOI 10.58732/2958-7212-2026-143-175.

16. Регионы Казахстана в 2024 году / статистический ежегодник 406 стр. https://stat.gov.kz - Дата обращения: 07.01.2026

17. Сельское, лесное и рыбное хозяйство в Республике Казахстан / статистический сборник https://stat.gov.kz - Дата обращения: 07.01.2026.

References

1. Agricultural Development New Perspectives in a Changing World Otsuka K., Fan S. (eds.). Agricultural Development: New Perspectives in a Changing World. – Washington, DC: International Food Policy Research Institute, 2021. - 768 p. DOI 10.2499/9780896293830

2. Handbook of Agricultural Economics Barrett C.B., Just D.R. (eds.). Handbook of Agricultural Economics. - Amsterdam: Elsevier, 2021.- 818 p. ISBN 9780323915014

3. Economics of Agricultural Development World Food Systems and Resource Use Norton G.W., Alwang J., Masters W.A. Economics of Agricultural Development: World Food Systems and Resource Use. - 4th ed. - London: Routledge, 2021. - 474 p. ISBN 9780429316999 DOI 10.4324/9780429316999.

4. OECD Agricultural Policy Monitoring and Evaluation report OECD. Agricultural Policy Monitoring and Evaluation. - Paris: OECD Publishing, 2023. – 420 p. - https://www.oecd.org. - Data obrashhenija: 07.01.2026.

5. World Development Report 2008: Agriculture for Development. – Washington, DC: World Bank, 2007. – 365 p. World Bank.2007. World Development Report 2008: Agriculture for Development. © World Bank. http://hdl.handle.net/10986/5990 License: CC BY 3.0 IGO.” Digital Object Identifier DOI 10.1596/978-0-8213-6807-7.

6. Enabling the Business of Agriculture 2019. – Washington, DC: World Bank, 2019. - 260 p. https://documents1.worldbank.org/curated/en/806771571717730416/pdf/Enabling-the-Business-of-Agriculture-2019.pdf. - Data obrashhenija: 07.01.2026.

7. Is small, beautiful Farm size productivity and poverty in Asian Agriculture Fan S., Chan-Kang C. Is small beautiful? Farm size, productivity, and poverty in Asian agriculture // Agricultural Economics. - 2005. - Vol.32(1). -P.135-146. DOI 10.1111/j.0169-5150.2004.00019.x

8. The State of Food and Agriculture 2022. FAO. The State of Food and Agriculture 2022: Leveraging Agricultural Automation for Transforming Agrifood Systems. - Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2022. - 210 p. ISBN 978-92-5-136043-9

9. Petrikov A. V. Regional’ naja differenciacija sel’ skogo hozjajstva v Rossii i sovremennaja agrarnaja politika //Federalizm. - 2022.-T.27.- № 3(107). - S.89–108. DOI 10.21686/2073-1051-2022-3-89-108. [in Russian]

10. Gorbatovskaja O. Faktory i metody ocenki territorial’ noj differenciacii sel’ skohozjajstvennogo proizvodstva // Agrarnaja jekonomika. -2017. - № 6. - S.18–29.

11. Smirnova E. V., Guseva E. P. Differenciacija regionov v sel’ skohozjajstvennom sektore jekonomiki v uslovijah tehnologicheskoj modernizacii // Izvestija Dal’ nevostochnogo federal’ nogo universiteta. Jekonomika i upravlenie. -2025. - № 4(116). - S.26–39. DOI 10.24866/2311–2271/2025–4/2220. [in Russian]

12. Tarshilova L. S. Territorial’ naja differenciacija razvitija sel’ skohozjajstvennogo proizvodstva regiona // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental’ nyh issledovanij. - 2015. - № 4–2. - S.243–246. [in Russian]

13. Gizzatova A. I., Zhumasheva S. T., Bajtaeva G.R. Razvitie sel’ skih territorij: osnova realizacii agrarnoj politiki//Problemy agrorynka. -2024.- № 3.-S.14-26. DOI 10.46666/2024–3.2708–9991.01. [in Russian]

14. Bespaeva R. S., Karabasov R.A., Nurmuhametov N.N., Bugubaeva R. O. Ustojchivoe razvitie organicheskogo sel’ skogo hozjajstva Kazahstana (regional’ nyj aspekt) // Jekonomika: strategija i praktika. - 2022. - T.17(4). - S.92–111. DOI 10.51176/1997-9967-2022-4-92-111. [in Russian]

15. Kuralbaeva A. Sh., Zhusipova Je. E., Esenbek Ch.N. Transformacija sel’ skoj infrastruktury i adaptacija k klimaticheskim izmenenijam // Qainar Journal of Social Science. - 2026. -T.5(1). - S. 143–175. DOI 10.58732/2958-7212-2026-143-175. [in Russian]

16. Regiony Kazahstana v 2024 godu / statisticheskij ezhegodnik 406 str. https://stat.gov.kz - Data obrashhenija: 07.01.2026. [in Russian]

17. Sel’ skoe, lesnoe i rybnoe hozjajstvo v Respublike Kazahstan / statisticheskij sbornik /

https://stat.gov.kz - Data obrashhenija: 07.01.2026. [in Russian]

Сведения об авторах

Юсупова С. А. - к.э.н., Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: Abay.saltanat@bk.ru;

Толысбаева М. С. - асс. Профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: tolysbayeva.m@mail.ru;

Касенова А. Ж. - к.э.н., ассоциированный профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: Kasenova_a@bk.ru;

Нарбаева Г.К. - старший преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: narbaeva_gulmira@mail.ru.

Мауина Г. А. – к.э.н., ассоциированный профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет им.С.Сейфуллина, e-mail: mauina_galiya@mail.ru;

Кунафина Г. Т. - к.э.н., ассоциированный профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: gulzhan-kunafina@mail.ru.

Information about the authors

Yussupova S. A.- PhD, S. Seifullin Kazak Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, e-mail: Abay.saltanat@bk.ru;

Tolysbayeva M.S.- Associate Professor, S. Seifullin Kazak Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, e-mail: tolysbayeva.m@mail.ru;

Kasenova A. Zh. - PhD Associate Professor, S. Seifullin Kazak Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, e-mail: Kasenova_a@bk.ru;

Narbaeva G. K.- Senior Lecturer, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, e-mail: narbaeva_gulmira@mail.ru;

Mauina C. A. - Candidate of Economic Sciences, associate professor, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Kazakhstan, e-mail: mauina_galiya@mail.ru;

Kunafina G. T. - Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, email: gulzhan-kunafina@mail.ru.

МРНТИ 06.71.63 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1456**

ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ ДЕТЕРМИНАНТЫ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ВНЕДРЕНИЮ КОМПОСТИРОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ В ШКОЛАХ АСТАНЫ

[1]А.А. Булашева, [2]С.С. Калиева✉, [2]Е.М. Абенов, [3]М.К. Макыш

[1]Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, Астана, Казахстан,
[2]Евразийский национальный университет им.Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
[3]Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан

✉ *Корреспондент-автор: s.s.kaliyeva@gmail.com*

Образовательные учреждения могут выступать ключевыми хабами формирования экологической культуры, способствуя развитию устойчивых экологических привычек у подрастающих поколений. В рамках данного исследования рассматривается возможность принятия управленческих решений о внедрении программы компостирования пищевых отходов на территориях школ города Астаны с акцентом на выявление факторов, препятствующих реализации данной инициативы.

Методологической основой исследования стал сбор качественных данных посредством интервью с руководителями школ города Астаны. Результаты исследования показали, что позитивное отношение к сортировке и компостированию пищевых отходов, осознание их воспитательной и практической ценности, а также поддержка со стороны родителей, педагогического коллектива и примеры успешного опыта других школ формируют прочную основу для принятия управленческих решений и формирования намерений у руководства школ внедрять данные практики.

В то же время установлено, что трансформация намерения в реальное действие возможна лишь при наличии соответствующих условий. Отсутствие финансирования, нехватка кадровых ресурсов, несоответствие санитарно-гигиеническим требованиям, недостаток инфраструктуры, а также дефицит нормативной и институциональной поддержки являются ключевыми барьерами, существенно ослабляющими переход от намерения к фактическому внедрению практик компостирования. В результате многие школы, несмотря на позитивное отношение к сортировке и компостированию, не имеют возможности реализовать данные инициативы без системной внешней поддержки.

Ключевые слова: управленческие решения, пищевые отходы, школы, компостирование, теория запланированного поведения, качественные методы исследования.

АСТАНА ҚАЛАСЫ МЕКТЕПТЕРІНДЕ ТАМАҚ ҚАЛДЫҚТАРЫН КОМПОСТТАУДЫ ЕНГІЗУ ЖӨНІНДЕГІ БАСҚАРУШЫЛЫҚ ШЕШІМДЕРДІ ҚАБЫЛДАУДЫҢ МІНЕЗ-ҚҰЛЫҚТЫҚ ДЕТЕРМИНАНТТАРЫ

[1]А.А. Булашева, [2]С.С. Калиева✉, [2]Е.М. Әбенов, [3]М.К. Мақыш

[1]С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан,
[2]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
[3]Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail: s.s.kaliyeva@gmail.com

Білім беру ұйымдары экологиялық мәдениетті қалыптастырудың негізгі хабтары ретінде әрекет етіп, өсіп келе жатқан ұрпақтың бойында тұрақты экологиялық әдеттерді дамытуға ықпал ете алады. Осы зерттеу аясында Астана қаласындағы мектептердің аумақтарында тағам қалдықтарын компосттау бағдарламасын енгізу жөніндегі басқарушылық шешімдерді қабылдау мүмкіндігі қарастырылып, аталған бастаманы іске асыруға кедергі келтіретін факторларды анықтауға ерекше назар аударылды.

Зерттеудің әдіснамалық негізін Астана қаласындағы мектеп басшыларымен жүргізілген сұхбаттар арқылы сапалық деректерді жинау құрады. Зерттеу нәтижелері тағам қалдықтарын сұрыптау

мен компосттауға деген оң көзқарас, олардың тәрбиелік және практикалық құндылығын түсіну, сондай-ақ ата-аналар, педагогикалық ұжым тарапынан көрсетілетін қолдау және басқа мектептердің табысты тәжірибелері мектеп басшылығының аталған тәжірибелерді енгізу жөніндегі басқарушылық шешімдерді қабылдауы мен берік ниеттерінің қалыптасуына негіз болатынын көрсетті.

Сонымен қатар, ниеттің нақты әрекетке айналуы тиісті жағдайлар болған жағдайда ғана мүмкін екені анықталды. Қаржыландырудың болмауы, кадрлық ресурстардың жеткіліксіздігі, санитариялық-гигиеналық талаптарға сәйкессіздік, инфрақұрылымның дамымауы, сондай-ақ нормативтік және институционалдық қолдаудың жоқтығы ниеттен нақты іске көшу үдерісін айтарлықтай әлсірететін негізгі кедергілер болып табылады. Нәтижесінде, тағам қалдықтарын сұрыптау мен компосттауға оң көзқарас танытатын көптеген мектептер жүйелі сыртқы қолдаусыз бұл тәжірибелерді енгізуге мүмкіндік таппай отыр.

Түйін сөздер: басқарушылық шешімдер, тағам қалдықтары, мектептер, компосттау, жоспарланған мінез-құлық теориясы, сапалық зерттеу әдістері.

BEHAVIOURAL DETERMINANTS OF MANAGERIAL DECSION-MAKING ON THE IMPLEMENTATION OF FOOD WASTE COMPOSTING IN SCHOOLS OF ASTANA

[1]A.A. Bulasheva, [2]S.S. Kaliyeva✉, [2]E.M. Abenov, [3]M.K. Makysh

[1]S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan,
[2]L.N.Gumilyev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[2]K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
e-mail: s.s.kaliyeva@gmail.com

Educational institutions can serve as key hubs for the formation of environmental culture, fostering the development of sustainable environmental habits among younger generations. This study examines the process of managerial decision-making regarding the implementation of a food waste composting program on the premises of schools in the city of Astana, with a particular focus on identifying factors that hinder the realization of this initiative.

The methodological framework of the study is based on the collection of qualitative data through interviews with school administrators in Astana. The findings indicate that positive attitudes toward food waste separation and composting, awareness of their educational and practical value, as well as support from parents and teaching staff and examples of successful practices from other schools, form a solid foundation for managerial decision-making and the development of intentions among school leadership to implement these practices.

At the same time, the results reveal that the translation of intention into actual behavior is possible only under enabling conditions. Lack of funding, shortages of human resources, non-compliance with sanitary and hygienic requirements, insufficient infrastructure, and the absence of regulatory and institutional support constitute the main barriers that significantly weaken the transition from intention to the actual implementation of composting practices. As a result, many schools, despite their positive attitudes toward waste separation and composting, are unable to implement these initiatives without systematic external support.

Keywords: managerial decision-making, food waste, schools, composting, theory of planned behavior, qualitative research methods.

Введение. Пищевые отходы в учреждениях образования представляют собой ключевую проблему устойчивого развития, которая выходит за рамки экологических проблем и охватывает другие аспекты, такие как социальные, экономические, и образовательные [1]. Усиления общественного внимания к вопросам устойчивости носит глобальный характер и образователь-

ные учреждения всё больше выступают не только как источники продовольственных отходов, но и как потенциальные площадки для поиска решений в их сокращениях [2]. Значимость проблемы пищевых отходов в образовательных учреждениях подтверждается различными международными эмпирическими исследованиями [1,3-5], который выявляют, что образовательные учреждения генерируют значительные объемы пищевых отходов разными путями включая отходы на этапе приготовления и остатки на тарелках учащихся после потребления пищи [6]. Например, объём отходов на этапе приготовления пищи в школьных столовых в среднем составляет 43,8 грамма на учащегося, причём 74,2% твёрдых отходов являются съедобными. Также, другое исследование показывает, что от 30 % до 50 % съедобной пищи не съедается учащимися в столовых и зачастую оказывается на свалках [7].

Несмотря на то, что во многих развитых странах уже активно внедряются практики переработки и повторного использования продовольственных отходов, включая компостирование [8], в Казахстане данная проблема остается актуальной из-за отсутствия сформированной культуры сортировки пищевых отходов и слабого развития инфраструктуры переработки [9]. За последние три года, в среднем городской житель Казахстана ежегодно производит 195-200 килограммов бытовых отходов, значительная часть которых приходится на органические отходы [10]. Несмотря на запрет на захоронение пищевых отходов на полигонах (Экологический Кодекс РК) [11], пищевые отходы продолжают поступать на полигоны, оказывая негативное воздействие на окружающую среду и способствуя усилению парникового эффекта [12]. Из 4,6 миллионов тонн коммунальных отходов, собранных в Казахстане в 2024 году, были отсортированы 12,9%, из них пищевых отходов только 4,5% [10]. Это означает что значительная доля органических отходов всё же продолжает попадать на полигоны.

Несмотря на обширные работы, посвященные пищевым отходам в образовательных учреждениях Европы и США [2-4,7], изучению этих явлений в условиях Центральной Азии уделяется значительно меньше внимания. Например, существующие труды в Казахстане больше сфокусированы на поведении в сфере управления бытовыми отходами в целом [9,13]. Данное исследование представляет собой первое исследование, специально посвященное изучению намерений в области управления пищевыми отходами в образовательных учреждениях в условиях Казахстана, что восполняет существенный пробел в региональной литературе. Направление данного исследования на школы, так и на дошкольные организации обеспечивает комплексный подход к развитию образования в сфере управления пищевыми отходами, так как раннее детство представляет собой критический период для формирования экологических моделей поведения и установок [1].

В предыдущих исследованиях были выявлены ограничения, связанные с ориентацией исключительно на отдельные точки зрения, такие как мнения поставщиков услуг общественного питания, учителей и администрации образовательных учреждений [1,6]. Данное исследование сфокусировано на отношение руководителей к практике сортирования пищевого мусора, что устраняет эти ограничения, так как именно от их инициатив зависит успешные реализации методов по сокращению отходов в образовательных учреждениях [5]. Данная работа применяет теорию запланированного поведения (ТЗП) [8,14] в качестве теоретической основы для разработки вопросов для интервью представляет собой методологический шаг вперёд в понимании поведенческих детерминант пищевых отходов в образовательных учреждениях в условиях Казахстана.

Более того, систематический обзор мировых исследований в области управления пищевыми отходами показывает преимущественное использование количественных методов, тогда как наблюдается недостаток качественных исследований, позволяющих глубже понять мотивацию и поведенческие аспекты участников [15]. Настоящее исследование восполняет указанный

пробел, применяя качественные методы, в частности глубинные интервью с руководителями школьных и дошкольных образовательных учреждений, что позволит получить развернутый анализ причинно-следственных связей и выработать практические рекомендации.

Практическое значение данного исследования распространяется на несколько важных областей практики и политики. Во-первых, исследование предоставляет эмпирические данные, что даст идеи для разработки национальной и местной политики по сокращению пищевых отходов в образовательных учреждениях. Во-вторых, исследование предлагает практические идеи для руководителей образовательных учреждений и других заинтересованных сторон, стремящихся внедрить эффективные стратегии сокращения пищевых отходов. В-третьих, это исследование способствует разработке культурно адаптированных образовательных программ по сокращению пищевых отходов. Понимание региональных условий и особенностей может позволить разработать мероприятия, соответствующие ценностям и практическим реалиям Казахстана.

В данном контексте внедрение практик компостирования пищевых отходов следует рассматривать не только как экологическую инициативу, но и как результат процесса управленческого принятия решений в условиях ограниченных ресурсов, институциональных рамок и нормативного давления.

Целью исследования является анализ организации питания и обращения с пищевыми отходами в школах города Астаны, выявление отношения и намерений руководителей образовательных учреждений по внедрению практик сортировки и компостирования, а также разработка рекомендаций по совершенствованию системы управления пищевыми отходами.

Материалы и методы. Теория запланированного поведения (ТЗП) была определена как одна из ключевых теоретических основ для изучения поведения, связанного с пищевыми отходами в образовательных учреждениях, предлагая комплексный подход к пониманию взаимосвязи между намерением и поведением в практике управления отходами. Эта теоретическая основа будет использована при разработке вопросов для интервью в рамках данного исследования, что позволит систематически изучить установки, субъективные нормы, воспринимаемый контроль поведения и намерения, связанные с управлением пищевыми отходами, среди руководителей школ города Астаны.

Сбор эмпирических данных осуществлялся с использованием метода полуструктурированного глубинного интервью. Респондентами выступили руководители общеобразовательных школ города Астаны, поскольку именно они принимают ключевые управленческие решения в условиях ограниченной автономии и ресурсных ограничений, связанные с организацией процессов обращения с отходами на территории образовательных учреждений.

Интервью проводились на основе предварительно разработанного опроса, включающего 15 открытых вопросов. Структура опроса была направлена на комплексное изучение отношения руководства школ к внедрению сортировки и компостирования пищевых отходов, а также факторов, влияющих на принятие соответствующих управленческих решений. Вопросы охватывали следующие тематические блоки:

(1) намерения и готовность к внедрению сортировки и компостирования пищевых отходов;

(2) предпочтения в отношении самостоятельной организации переработки отходов либо привлечения аутсорсинговых компаний;

(3) личное отношение руководителей к данным экологическим практикам и ожидаемые социальные, образовательные и институциональные выгоды;

(4) воспринимаемую реакцию ключевых заинтересованных сторон (педагогов, сотрудников и родителей);

(5) институциональную среду, включая уровень поддержки или давления со стороны органов управления образованием и государственных структур;

(6) влияние внешних примеров успешных

практик в других школах;

(7) наличие и доступность необходимых ресурсов (финансовых, кадровых, инфраструктурных);

(8) основные барьеры и ограничения;

(9) степень управленческого контроля над процессом принятия решений;

(10) факторы, способствующие облегчению внедрения практик, а также рекомендации для государственных органов и исследовательского сообщества. Формулировка вопросов основывалась на ключевых компонентах теории запланированного поведения (Рисунок 1).

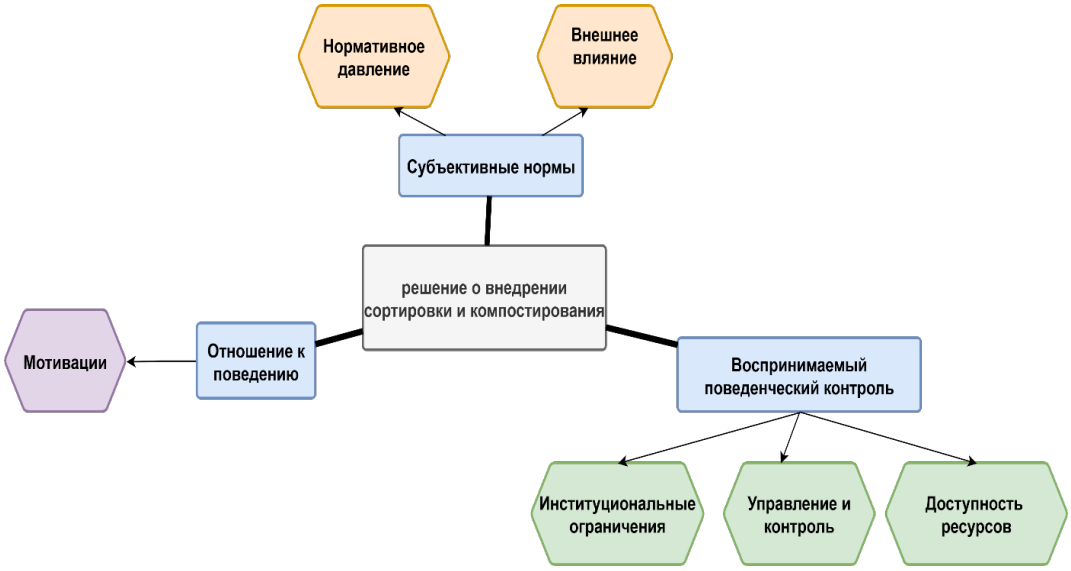


Рис.1 - Теоретическая основа исследования
Примечание - составлено авторами

Отбор школ осуществлялся с применением комбинированного подхода, включающего элементы случайной выборки и метода «снежного кома», что позволило обеспечить разнообразие организационных контекстов и управленческого опыта. Всего к участию в исследовании были приглашены представители 12 школ, из которых 10 первоначально согласились принять участие. Однако в ходе проведения интервью представители 3 школ отказались от дальнейшего участия, в связи с чем были получены лишь частичные ответы. Учитывая неполноту данных, а также отказ данных школ от продолжения участия, их ответы не были включены в итоговый анализ. Вместе с тем следует отметить, что полученные частичные ответы в целом были схожи с ответами школ, завершивших участие в исследовании.

Причины отказа варьировались, однако в большинстве случаев руководители ссылались на высокую загруженность текущими рабочими задачами. Кроме того, высказывалось мнение, что внедрение практики компостирования может создать дополнительную нагрузку для сотрудников, а решение экологических вопросов не входит в сферу их непосредственной компетенции, особенно с учетом наличия других приоритетных образовательных задач.

В целях соблюдения конфиденциальности наименования школ в дальнейшем представлены в виде шифров S1–S7.

Сбор данных продолжался до достижения тематической насыщенности, когда новые интервью перестали вносить существенную информацию и повторяли уже выявленные темы.

Результаты и обсуждение. *Отношение к сортировке и компостированию*

Все руководители школ в целом выражают

положительное отношение к сортировке и компостированию пищевых отходов. Они отмечают эту тему актуальной и важным шагом для формирования экологической культуры у детей (S1, S2). При этом отмечается необходимость продуманного плана внедрения (S1), так как без правильного и системного подхода реализация может оказаться затруднительной. Школы видят в сортировке и компостировании значимые воспитательные и практические преимущества. Респонденты подчёркивают, что дети «научатся экономить и ценить» (S1), приобретут «полезные навыки» (S2), ответственность и экологические ценности, включая умение «защищать природу» (S5). Для школы это тоже выгодно (S7). Школа S7 замечает, что «удобрения можно использовать для ухода за зелёными насаждениями и благоустройством школьного двора», что создаёт «положительный эффект» и снижает расходы на покупку удобрений. В целом, ответы респондентов показывают поддержку внедрения сортировки и компостирования в школах. Однако отмечается, что такие инициативы должны внедряться «системно со стороны государства» (S1) и быть согласованы на всех уровнях (S2): «семья, садик, школа, вуз». Также были указаны проблемы несогласованности процессов, когда сортированные отходы всё равно попадают «в один контейнер», что снижает их мотивацию к сортировке (S3).

Субъективные нормы. Школы ожидают что родители, педагоги и сотрудники воспримут инициативу сортировки пищевых отходов положительно в случае предварительного информирования: «необходимо проводить разъяснительную работу среди родителей», потому что речь идёт о пищевых отходах и требованиях к чистоте (S1). Некоторые респонденты упоминают, что на старте неизбежны вопросы и сопротивление, так как «у каждого есть своё субъективное мнение» (S2, S4). Школа S5 привела пример проект «Сарыға таста», который подтверждает, что родители и педагоги способны объединиться вокруг одной идеи (S5): поддержка родителей позволила собрать «до 4–5 тонн отходов» и направить средства на благотворительность.

Касательно поддержки со стороны государственных органов или руководства, школы S2 и S3 выделяют поддержку в обеспечении «бесплатных трёх-секционных контейнеров», «пакетов» для сортировки бытового мусора, в проведении семинаров и финансировании проекта, такого как «фонд Б. Отемуратова». Остальные школы отмечают, что «финансовой поддержки» от государства по пищевым отходам нет, все «только на словах» (S1). Давления или принуждения также не отмечается, однако школы обязаны «регулярно отчитываться» (S3) по полученным материалам. Есть также случаи, когда школа полностью работает «самостоятельно, исходя из внутренних возможностей и ресурсов» (S4). Важно отметить, что эта инициатива исходит в основном от частных школ.

Положительные примеры других образовательных учреждений действительно играют ключевую роль в мотивировании и принятии решения к организации сортировки и компостирования (S6). Все школы считают (S1-S7), что успешный опыт коллег помогает увидеть «видимый результат» (S1), оценить «расходы и доходы» (S3) и понять реальную пользу таких практик.

Намерения. Результаты исследований показывают, что не все руководители имеют намерения в будущем внедрять сортировку пищевых отходов в школах. Среди опрошенных респондентов только одна из них (S2) практикует сортировку «в рамках проекта “Зелёная школа”, где проводится работа по компостированию пищевых отходов». Эту работу школа намерена продолжать и в будущем. Школы S5, S6 отметили желание внедрение данной практики в будущем. Однако есть школы выразившие неготовность внедрять сортировку пищевых отходов (S3, S4, S7). Это объясняется необходимостью «объёмного исследования» и соблюдения санитарных норм (S1).

Готовность организации переработки на территориях школ неоднозначна. Согласно ответам руководителей, перекос идет в сторону аутсорсинга. Большинство (S1, S3, S4, S5, S6) считают, что переработку должны выполнять специализированные организации. Это объясняет-

ся тем, что самостоятельная переработка сопряжена с большими расходами (S3): «нужны электричество, ответственность, специалисты…всё это требует ресурсов». S4 подчёркивают, что подобные услуги «не учтены в реестре» и должны внедряться системно «сверху вниз». Лишь одна школа допускает возможность собственной переработки (S2), но и она признаёт, что при отсутствии условий предпочтительнее «привлечение специализированной компании», и «квалифицированных специалистов» чтобы обеспечить безопасность и не перегружать персонал.

Поведенческий контроль. Результаты показали, что для внедрения сортировки и компостирования в школах нужны три основные группы ресурсов: финансовые, инфраструктурные и кадровые. Множество опрошенных образовательных учреждений потмечают, что «нужна финансовая помощь», поскольку без неё невозможно обеспечить школьные кадры дополнительной нагрузкой (часами) (S1, S2) и нанять дополнительные кадры, квалифицированные в области компостирования (S2). Что касается инфраструктуры, то требуется специально организованное пространство, оборудование и системный подход (S3-S6), что опять «упирается в финансирование» (S5), поскольку ни волонтёры, ни текущие школьные ресурсы не позволяют поддерживать такие инициативы без внешней поддержки.

Таким образом, недостаток финансирования является главным барьером, препятствующим обеспечение оборудованим, инфраструктурой и оплатой труда сотрудников. Картина дополняется низкой окупаемостью: даже если «продавать по 50 тг за кг», сумма слишком мала, чтобы покрыть кадровые расходы (S5). Все это системные препятствия, требующие внешней поддержки и планирования.

Все образовательные учреждения сходятся во мнении, что школы не обладают полным контролем над внедрением сортировки и компостирования пищевых отходов. Реализация таких практик зависит от множества внешних факторов (S2): санитарных норм (S6), требований государственных органов (S5), ограничений школьной территории (S2), необходимости согласования с родителями (S3), а также позиций подрядных организаций, включая компании, управляющие школьными столовыми (S5-S6).



Рис.2 - Результаты опроса на основе модели теории запланированного поведения
Примечание - составлено авторами

Процесс внедрения сортировки и компостирования пищевых отходов мог бы существенно упроститься «Если внедрять как долгосрочный проект, с финансированием» (S1, S2). Школа S3 отмечает необходимость организации процесса питания и формировани у детей устойчивых пи-

щевых привычек. Школа S4 и S6 подчёркивают важность подхода, включающего методическую поддержку, обучение персонала и обеспечение необходимой инфраструктуры. Значимым фактором могла бы стать и нормативная поддержка “сверху” (S5) в качестве официального распоряжения или письмоа от вышестоящих органов, которое облегчило бы взаимодействие со столовыми и другими задействованными структурами.

Результаты исследования подтверждают структуру модели теории запланированного поведения (рисунок 2). Позитивное отношение к сортировке и компостированию, которая несет в себе воспитательную и практическую ценность, а также поддержка со стороны родителей, коллег и примеров других школ действительно формируют основу для сильного намерения у руководства школ внедрять практики сортировки и компостирования. Однако данное намерение реализуется в действие только при наличии условий. Отсутствие финансирования, нехватка кадров, несоответствие санитарным нормам, отсутствие инфраструктуры и нормативной поддержки являются главными барьерами и существенно ослабляют переход от намерения к фактическому поведению. В результате многие школы, даже позитивно относящиеся к сортировке, не в силах внедрить её без системной внешней помощи.

Выводы. Увеличение глобального потребления продуктов питания оказывает значительное влияние на формирование стихийных свалок пищевых отходов, которые представляют собой не только продовольственную, но и серьёзную экологическую проблему. Пищевые отходы, образующиеся без предварительной сортировки, создают препятствия для переработки вторичных ресурсов, таких как бумага и пластик, а также негативно влияют на ландшафт и экологическое состояние территорий.

В соответствии с иерархией обращения с отходами минимизация их образования является первоочередным и наиболее приоритетным шагом на пути к устойчивому управлению отходами (Рисунок 3). В условиях казахстанских реалий наиболее эффективным и оптимальным решением выступает переработка и компостирование пищевых отходов.



Рис.3 - Международная иерархия управления отходами
Примечание - составлено на основе источника [16]

В связи с этим данное исследование было направлено на изучение готовности и намерений общеобразовательных школ страны участвовать в процессах переработки пищевых отходов на территории школьных учреждений. Для участия в исследовании были приглашены руководители государственных школ города Астаны.

Теоретической основой исследования послужила теория запланированного поведения (Theory of Planned Behavior). Выбор качественного метода исследования обосновывался анализом зарубежной и отечественной научной литературы, в которой подчёркивается недостаток качественных исследований, направленных на выявление глубинных мнений, установок и намерений участников процессов управления отходами.

Результаты исследования показали в целом положительное отношение руководителей школ к внедрению практик сортировки и переработки пищевых отходов. Вместе с тем большинство респондентов выразили предпочтение реализации данных процессов с привлечением аутсорсинговых компаний. Все участники исследования сошлись во мнении, что основными барьерами внедрения системы переработки пищевых отходов являются финансовые, кадровые и инфраструктурные ограничения.

Кроме того, респонденты отметили, что инициативы по внедрению практик сортировки и переработки отходов должны носить долгосрочный характер и реализовываться на основе распоряжений и поддержки со стороны вышестоящих уполномоченных органов. Данный фактор отражает ограниченную автономность государственных школ в принятии управленческих решений.

Таким образом, экологическая политика, направленная на улучшение состояния окружающей среды и формирование экологической осознанности у подрастающего поколения, должна реализовываться по принципу «сверху вниз» в дошкольных и школьных образовательных учреждениях, в отличие от высших учебных заведений, обладающих большей институциональной автономией.

Финансирование. *Исследование выполнено в рамках проекта ГФ «Разработка методических рекомендаций по утилизации и переработке пищевых отходов в образовательных учреждениях АР 22686421»*

Литература

1. Filimonau V., Ermolaev V. A., Vasyukova A. Food waste in food service provided in educational settings: An exploratory study of institutions of early childhood education // International Journal of Gastronomy and Food Science. -2022. -Vol.28(1): 100531. DOI 10.1016/j.ijgfs.2022.100531.

2. Haniva R., Butar S.B., Ambarita N. Waste management in schools as part of sustainable development // Journal of Sustainability, Society, and Eco-Welfare. -2024. -Vol.1(2). -P.126-148. DOI 10.61511/jssew.v1i2.2024.325.

3. Kasavan S., et al. Reducing food waste at school canteens: The behaviour of school communities // Malaysian Journal of Society and Space. -2021. -Vol.17(2). -P.52-64. DOI 10.17576/geo-2021-1702-05.

4. Kaur P., et al. Systematic literature review of food waste in educational institutions: setting the research agenda // International Journal of Contemporary Hospitality Management. -2021. -Vol.33(4). -P. 1160-1193. DOI 10.1108/IJCHM-07-2020-0672.

5. Derqui B., Fernandez V., Fayos T. Towards more sustainable food systems. Addressing food waste at school canteens // Appetite. -2018. -Vol.129. -P.1–11. DOI 10.1016/j.appet.2018.06.022.

6. Prescott M.P., et al. Resources, Barriers, and Tradeoffs: A Mixed Methods Analysis of School Pre-Consumer Food Waste // Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics. -2019. -Vol.119(8). -P.1270–1283. DOI 10.1016/j.jand.2019.03.008.

7. Schupp C.L., Getts K.M., Otten J.J. An Evaluation of Current Lunchroom Food Waste and Food Rescue Programs in a Washington State School District // Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development. -2018. -Vol.8(1). -P.167–186. DOI 10.5304/jafscd.2018.081.013.

8. Naujokas G., Bobinaite V. Understanding Food Waste Sorting Practices: Insights from a Systematic Review // Sustainability. -2025. -Vol. 17(9):4236. DOI 10.3390/su17094236.

9. Sarbassov Y., et al. Survey on Household Solid Waste Sorting at Source in Developing Economies: A Case Study of Nur-Sultan City in Kazakhstan // Sustainability. -2019. -Vol.11(22): 6496. DOI 10.3390/su11226496.

10. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. Индикаторы «зелёной» экономики. URL: https://stat.gov.kz/ru/green-economy-indicators/195/. -Дата обращения: 10.09.2025.

11. Экологический кодекс Республики Казахстан. -2021. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400. -Дата обращения: 10.09.2025.

12. Анисимова Н., Душкина Ю., Мустафина В. Опыт переработки органических отходов в Республике Казахстан с помощью вермикультуры // The Center “Cooperation for Sustainable Development”. URL: https://csd-center.kz/knowledge-base/opyt-pererabotki-organicheskih-othodov-v-respublike-kazahstan-s-pomosc.html?lang=en. -Дата обращения: 10.09.2025.

13. Zhidebekkyzy A., Moldabekova A., Amangeldiyeva B. Pro-Environmental Behavior and Household Waste Sorting in Kazakhstan: an Empirical Analysis // Eurasian Journal of Economic and Business Studies. -2023. -T.67 (1). -P.39–51. DOI 10.47703/ejebs.v1i67.186.

14. Ajzen I. From Intentions to Actions: A Theory of Planned Behavior // Action Control: SSSP Springer Series in Social Psychology. -1985. -P. 11–39. DOI 10.1007/978-3-642-69746-3_2.

15. Santos J.I.A.S., et al. Consumer behaviour in relation to food waste: a systematic literature review // British Food Journal. -2022. -Vol.124(12). -P.4420–4439. DOI10.1108/BFJ-09-2021-1075.

16. Соломонов М. П. Организация жилищно-коммунального хозяйства на Севере (на примере Республики Саха (Якутия)) : учебное пособие для студентов высших учебных заведений/ Издательский дом Академии естествознания. -2016. -144 с. ISBN 978-5-91327-365-9.

References

1. Filimonau V., Ermolaev V. A., Vasyukova A. Food waste in food service provided in educational settings: An exploratory study of institutions of early childhood education // International Journal of Gastronomy and Food Science. -2022. -Vol.28(1): 100531. DOI 10.1016/j.ijgfs.2022.100531.

2. Haniva R., Butar S.B., Ambarita N. Waste management in schools as part of sustainable development // Journal of Sustainability, Society, and Eco-Welfare. -2024. -Vol.1(2). -P.126-148. DOI 10.61511/jssew.v1i2.2024.325.

3. Kasavan S., et al. Reducing food waste at school canteens: The behaviour of school communities // Malaysian Journal of Society and Space. -2021. -Vol.17(2). -P.52-64. DOI 10.17576/geo-2021-1702-05.

4. Kaur P., et al. Systematic literature review of food waste in educational institutions: setting the research agenda // International Journal of Contemporary Hospitality Management. -2021. -Vol.33(4). -P. 1160-1193. DOI 10.1108/IJCHM-07-2020-0672.

5. Derqui B., Fernandez V., Fayos T. Towards more sustainable food systems. Addressing food waste at school canteens // Appetite. -2018. -Vol.129. -P.1–11. DOI 10.1016/j.appet.2018.06.022.

6. Prescott M.P., et al. Resources, Barriers, and Tradeoffs: A Mixed Methods Analysis of School Pre-Consumer Food Waste // Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics. -2019. -Vol.119(8). -P.1270–1283. DOI 10.1016/j.jand.2019.03.008.

7. Schupp C.L., Getts K.M., Otten J.J. An Evaluation of Current Lunchroom Food Waste and Food Rescue Programs in a Washington State School District // Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development. -2018. -Vol.8(1). -P.167–186. DOI 10.5304/jafscd.2018.081.013.

8. Naujokas G., Bobinaite V. Understanding Food Waste Sorting Practices: Insights from a Systematic Review // Sustainability. -2025. -Vol. 17(9):4236. DOI 10.3390/su17094236.

9. Sarbassov Y., et al. Survey on Household Solid Waste Sorting at Source in Developing Economies: A Case Study of Nur-Sultan City in Kazakhstan // Sustainability. -2019. -Vol.11(22): 6496. DOI 10.3390/su11226496.

10. Bjuro nacional' noj statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniju i reformam Respubliki Kazahstan. Indikatory «zeljonoj» jekonomiki. URL: https://stat.gov.kz/ru/green-economy-indicators/195/. -Data obrashhenija: 10.09.2025. [in Russian]

11. Jekologicheskij kodeks Respubliki Kazahstan. -2021. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400. -Data obrashhenija: 10.09.2025. [in Russian]

12. Anisimova N., Dushkina Ju., Mustafina V. Opyt pererabotki organicheskih othodov v Respublike Kazahstan s pomoshh' ju vermikul' tury // The Center "Cooperation for Sustainable Development". URL: https://csd-center.kz/knowledge-base/opyt-pererabotki-organicheskih-othodov-v-respublike-kazahstan-s-pomosc.html?lang=en. -Data obrashhenija: 10.09.2025. [in Russian]

13. Zhidebekkyzy A., Moldabekova A., Amangeldiyeva B. Pro-Environmental Behavior and Household Waste Sorting in Kazakhstan: an Empirical Analysis // Eurasian Journal of Economic and Business Studies. -2023. -T.67 (1). -P.39–51. DOI 10.47703/ejebs.v1i67.186.

14. Ajzen I. From Intentions to Actions: A Theory of Planned Behavior // Action Control: SSSP Springer Series in Social Psychology. -1985. -P. 11–39. DOI 10.1007/978-3-642-69746-3_2.

15. Santos J.I.A.S., et al. Consumer behaviour in relation to food waste: a systematic literature review // British Food Journal. -2022. -Vol.124(12). -P.4420–4439. DOI 10.1108/BFJ-09-2021-1075.

16. Solomonov M. P. Organizacija zhilishhno-kommunal' nogo hozjajstva na Severe (na primere Respubliki Saha (Jakutija)) : uchebnoe posobie dlja studentov vysshih uchebnyh zavedenij/ Izdatel' skij dom Akademii estestvoznanija. -2016. -144 s. ISBN 978-5-91327-365-9. [in Russian]

Сведения об авторах

Булашева А. А. - кандидат экономических наук, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: ai.bulasheva@kazatu.edu.kz; ORCID: 0000-0003-0929-5661.

Калиева С. С. - PhD, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: s.s.kaliyeva@gmail.com; ORCID: 0000-0002-0655-0682.

Абенов Е.М.- PhD, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: aem11186@mail.ru; ORCID: 0000-0002-0243-9223.

Макыш М.К. - PhD, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: makysh86@mail.ru. ORCID: 0000-0001-9630-2772.

Information about authors

Bulasheva A.A. - Candidate of Economic Sciences, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, e-mail: ai.bulasheva@kazatu.edu.kz;

Kaliyeva S.S. - PhD), L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: s.s.kaliyeva@gmail.com;

Abenov Y.M. - PhD, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: aem11186@mail.ru;

Makysh M.K. - PhD, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: makysh86@mail.ru.

IRSTI 82.13.01 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1649**

DIGITAL HR ECOSYSTEM IN KAZAKHSTAN'S CIVIL SERVICE: INSTITUTIONAL BARRIERS AND PROSPECTS FOR HUMAN-CENTRIC MODERNIZATION

A.K. Amirova

Astana IT University, Astana, Kazakhstan

Correspondent-author: a.amirova@astanait.edu.kz

The article examines the modernization of human resource management in the civil service of the Republic of Kazakhstan through the prism of a digital HR ecosystem. The relevance of the study is determined by the transition from mainly administrative personnel record keeping to strategic, data-driven and human-centric management.

The research is based on a synthesis of regulatory analysis, documentary review, focus-group materials and practical observations related to the integrated information system E-Kyzmet. Attention is paid to the gap between the declared priorities of the Concept for the Development of the Civil Service for 2024-2029 and the actual maturity of digital HR processes in public bodies. The findings show that E-Kyzmet has become an important infrastructure for centralizing personnel data, automating employment procedures and increasing the transparency of recruitment. At the same time, the system still demonstrates technological, methodological and organizational limitations: insufficient HR analytics, uneven integration with external databases, unstable user experience, excessive formalization of processes, weak regulatory support for artificial intelligence, and a shortage of digital competencies among HR specialists.

The article argues that the further development of E-Kyzmet should not be reduced to technical renewal. It requires a coordinated ecosystem approach combining legal regulation, process redesign, cyber security, ethical use of artificial intelligence, user training and a stronger connection between public-sector personnel needs and university training. The proposed recommendations may be used to improve digital HR policy and strengthen the professional capacity of Kazakhstan's civil service.

Keywords: human-centricity, civil service, ecosystem, digitalization, human resource management, Kazakhstan.

ЦИФРОВАЯ HR-ЭКОСИСТЕМА ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ КАЗАХСТАНА: ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЕ БАРЬЕРЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЧЕЛОВЕКОЦЕНТРИЧНОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ

А.К. Амирова

Astana IT University, Астана, Казахстан,
e-mail: a.amirova@astanait.edu.kz

В статье рассматривается модернизация управления человеческими ресурсами в системе государственной службы Республики Казахстан через призму цифровой HR-экосистемы. Актуальность исследования определяется переходом от преимущественно административного кадрового учета к стратегическому, основанному на данных и человекоцентричному управлению.

Исследование основано на синтезе нормативно-правового анализа, обзора документов, материалов фокус-групп и практических наблюдений, связанных с интегрированной информационной системой E-Kyzmet. Особое внимание уделяется разрыву между заявленными приоритетами Концепции развития государственной службы на 2024-2029 годы и фактическим уровнем зрелости цифровых HR-процессов в государственных органах. Результаты исследования показывают, что E-Kyzmet стала важной инфраструктурой для централизации кадровых данных, автоматизации процедур трудоустройства и повышения прозрачности отбора кадров. В то же время система по-прежнему демонстрирует технологические, методологические и организационные ограничения:

недостаточность HR-аналитики, неравномерную интеграцию с внешними базами данных, нестабильный пользовательский опыт, чрезмерную формализацию процессов, слабое нормативное сопровождение применения искусственного интеллекта, а также дефицит цифровых компетенций у HR-специалистов.

В статье обосновывается, что дальнейшее развитие E-Kyzmet не должно сводиться только к техническому обновлению. Оно требует согласованного экосистемного подхода, объединяющего правовое регулирование, пересмотр бизнес-процессов, кибербезопасность, этичное использование искусственного интеллекта, обучение пользователей и усиление связи между кадровыми потребностями государственного сектора и подготовкой специалистов в вузах. Предложенные рекомендации могут быть использованы для совершенствования цифровой HR-политики и укрепления профессионального потенциала государственной службы Казахстана.

Ключевые слова: человекоцентричность, государственная служба, экосистема, цифровизация, управление человеческими ресурсами, Казахстан.

ҚАЗАҚСТАННЫҢ МЕМЛЕКЕТТІК ҚЫЗМЕТІНДЕГІ ЦИФРЛЫҚ HR-ЭКОЖҮЙЕ: ИНСТИТУЦИОНАЛДЫҚ КЕДЕРГІЛЕР ЖӘНЕ АДАМҒА БАҒДАРЛАНҒАН ЖАҢҒЫРТУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

А.Қ. Әмірова
Astana IT University, Астана, Қазақстан,
e-mail: a.amirova@astanait.edu.kz

Мақалада Қазақстан Республикасының мемлекеттік қызмет жүйесіндегі адами ресурстарды басқаруды цифрлық HR-экожүйе тұрғысынан жаңғырту мәселелері қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі негізінен әкімшілік кадрлық есеп жүргізуден стратегиялық, деректерге негізделген және адамға бағдарланған басқару үлгісіне көшу қажеттілігімен айқындалады.

Зерттеу нормативтік-құқықтық талдауды, құжаттарға шолуды, фокус-топ материалдарын және E-Kyzmet интеграцияланған ақпараттық жүйесіне қатысты практикалық бақылауларды біріктіруге негізделген. Ерекше назар 2024-2029 жылдарға арналған Мемлекеттік қызметті дамыту тұжырымдамасында белгіленген басымдықтар мен мемлекеттік органдардағы цифрлық HR-процестердің нақты жетілу деңгейі арасындағы алшақтыққа аударылады. Зерттеу нәтижелері E-Kyzmet жүйесінің кадрлық деректерді орталықтандыру, жұмысқа қабылдау рәсімдерін автоматтандыру және кадрларды іріктеудің ашықтығын арттыру үшін маңызды инфрақұрылымға айналғанын көрсетеді. Сонымен қатар жүйеде әлі де технологиялық, әдістемелік және ұйымдастырушылық шектеулер байқалады: HR-аналитиканың жеткіліксіздігі, сыртқы дерекқорлармен интеграцияның біркелкі болмауы, пайдаланушы тәжірибесінің тұрақсыздығы, процестердің шамадан тыс формалдануы, жасанды интеллектті қолдануды нормативтік сүйемелдеудің әлсіздігі және HR-мамандардың цифрлық құзыреттерінің жеткіліксіздігі.

Мақалада E-Kyzmet жүйесін одан әрі дамыту тек техникалық жаңартумен шектелмеуі тиіс екені негізделеді. Бұл құқықтық реттеуді, бизнес-процестерді қайта жобалауды, киберқауіпсіздікті, жасанды интеллектті этикалық қолдануды, пайдаланушыларды оқытуды және мемлекеттік сектордың кадрлық қажеттіліктері мен жоғары оқу орындарында мамандар даярлау арасындағы байланысты күшейтуді біріктіретін келісілген экожүйелік тәсілді талап етеді. Ұсынылған ұсынымдар цифрлық HR-саясатты жетілдіру және Қазақстан мемлекеттік қызметінің кәсіби әлеуетін нығайту үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: адамға бағдарлану, мемлекеттік қызмет, экожүйе, цифрландыру, адами ресурстарды басқару, Қазақстан.

Introduction. Human capital has become one of the decisive resources for the effectiveness of the state apparatus. In the case of Kazakhstan, this issue is especially important because public administration is simultaneously undergoing institutional modernization, digital transformation and a shift towards a service-oriented model. The Law of the Republic of Kazakhstan "On Civil Service" consolidated the basic principles of professionalism, meritocracy, transparency and accountability in the public sector [1]. The Concept for the Development of the Civil Service for 2024-2029 further emphasizes the need to modernize personnel management instruments, strengthen the motivation of civil servants, create a comfortable working environment and introduce evidence-based HR planning [2].

The transition to digital HR management is not only a technological task. It changes how personnel decisions are prepared, justified and implemented. When personnel data are fragmented, recruitment procedures remain lengthy and HR units perform mainly clerical functions, digitalization does not automatically lead to better governance. Conversely, when digital tools are supported by clear regulation, reliable data, analytical modules and user trust, they can improve recruitment quality, reduce bureaucratic costs and support fair career development.

Kazakhstan has accumulated considerable experience in electronic government and digital public services. The national civil service increasingly uses digital instruments for vacancy publication, candidate testing, document submission and personnel records. However, the practical experience of E-Kyzmet, the core digital platform for personnel administration in state bodies, shows that the move from automation to a mature HR ecosystem is still incomplete. The National Report on the State of the Civil Service identifies the modernization of HR practices, improvement of professional capacity and development of a more service-oriented state apparatus as key priorities [3]. The Law "On Informatization" also creates the broader legal framework for information systems, electronic interaction and information security [4].

At the same time, the empirical data used in this article indicates a number of unresolved problems. E-Kyzmet covers the full life cycle of civil service employment, yet its current functionality is still focused more on formal record keeping than on predictive analytics, skills management and strategic workforce planning. The official e-government portal confirms that access to civil service involves several digitalized stages, including legal knowledge testing, assessment of personal qualities and competition for an administrative position [5]. Nevertheless, the quality of the overall process depends not only on the existence of online services but also on the reliability of data exchange, clarity of business processes, cyber security and the ability of HR specialists to work with analytics.

The purpose of this article is to identify the key institutional, technological and methodological barriers to the development of a digital HR ecosystem in Kazakhstan's civil service and to formulate recommendations for the modernization of E-Kyzmet as a human-centric platform. The article contributes to the discussion on public-sector digital transformation by showing that a digital HR ecosystem should be understood not as a separate software product, but as an integrated environment where regulation, data, users, competencies, security and organizational culture interact.

The research logic therefore moves from the scale of HR digitalization to the maturity of the digital HR ecosystem. Official statistics and Agency reports demonstrate the growing functional scope of E-Kyzmet, while focus-group materials show whether these functions are perceived by users as integrated, reliable and analytically useful. This combination provides opportunity to distinguish between simple automation of personnel procedures and genuine ecosystem modernization.

Materials and Methods. The central *research question* is: what institutional and technological conditions are necessary for transforming E-Kyzmet from a personnel accounting system into a full-fledged digital HR ecosystem for Kazakhstan's

civil service? The question is formulated in relation to the strategic objectives of the Concept for the Development of the Civil Service for 2024-2029 and the practical limitations observed in the functioning of the current platform.

The study advances the following *hypothesis*: the effectiveness of digital HR transformation in the civil service depends not primarily on the number of automated modules, but on the systemic alignment of five components: legal regulation, reliable data integration, HR analytics, digital competencies of users and a human-centric organizational culture. If one of these components remains underdeveloped, digitalization risks reproducing the same bureaucratic practices in electronic form.

Table 1 - Research design and empirical basis of the study

Component	Content of the study	Empirical basis	Expected analytical output
Research question	What institutional and technological conditions are required for E-Kyzmet to evolve from an administrative information system into a human-centric digital HR ecosystem?	Strategic documents, national reports, focus-group materials and internal project data.	Definition of the core transformation problem and analytical boundaries.
Hypothesis	Digital HR transformation will be effective only if technological modernization is combined with regulatory renewal, HR analytics, data integration and user-oriented organizational change.	Analysis of E-Kyzmet practice, civil service reform documents and international digital government literature.	Verification of the link between platform maturity and institutional readiness.
Research stages	Regulatory review; analysis of E-Kyzmet functionality; qualitative analysis of focus groups; synthesis of recommendations.	Five focus groups involving HR staff of central and local public bodies, territorial departments and civil servants enrolled in HRM training.	Integrated map of barriers, risks and modernization priorities.
Methods	Document analysis, comparative institutional analysis, qualitative coding, synthesis and problem-oriented interpretation.	National legislation, concepts of public administration and civil service development, national report data and expert discussions.	Evidence-based recommendations for digital HR ecosystem design.

The study was carried out in *four stages*. The first stage involved the analysis of strategic and regulatory documents governing the civil service, informatization and public-sector HR policy in Kazakhstan. The second stage focused on the functional development of E-Kyzmet, including its modules, integrations and modernization trajectory. The third stage summarized empirical materials obtained through focus-group discussions with representatives of central and local HR units, territorial departments of the Agency for Civil Service Affairs, civil servants enrolled in HR-related educational programmes and employees of the central apparatus. The fourth stage consisted of analytical generalization and the formulation of recommendations for ecosystem modernization.

The methodological design combines document analysis, comparative institutional analysis,

qualitative content analysis of focus-group materials, problem mapping and synthesis of international literature on digital government, HR analytics and artificial intelligence in public administration. The study also uses elements of an applied case-study approach because E-Kyzmet is examined as a concrete institutional and technological mechanism rather than as an abstract digital platform. The structure of the empirical design is summarized in Table 1.

Official reports and monitoring data of the Agency for Civil Service Affairs (www.gov.kz/memleket/entities/qyzmet) were used to assess the quantitative scale of staffing, vacancies, competition procedures and digital selection, as well as to identify the indicators already collected through E-Kyzmet-related monitoring. The qualitative part consisted of five focus-group discussions conducted on 16 June 2025 via Zoom with 33 participants representing HR units of central and local public bodies, territorial departments of the Agency for Civil Service Affairs, civil servants enrolled in HR-related educational programmes and employees of the central apparatus. The focus-group materials were processed through qualitative content analysis: repeated statements, practical cases and problem situations were grouped into thematic categories such as data integration, manual duplication, user experience, HR analytics, digital recruitment, regulatory support, AI use, digital competencies and cybersecurity.

The research identified a stable set of barriers: insufficient integration between state information systems, lack of predictive HR analytics, excessive complexity of some user scenarios, weak automation of skills-based recruitment, limited readiness for AI use, uneven digital competencies, insufficient methodological support and risks related to cyber security and personal data protection. These findings support the initial hypothesis and show that the development of a digital HR ecosystem requires simultaneous modernization of technology, regulation and organizational practice.

Results and Discussion. *1. Digital HR transformation as an institutional process.* International research on digital government stresses that public-sector digital transformation cannot be reduced to the introduction of electronic services. It involves redesigning organizational routines, decision-making processes and institutional relationships. The OECD Public Governance Scan of Kazakhstan underlines the importance of public administration modernization, human resource management and public-sector innovation for Kazakhstan's reform agenda [6]. This perspective corresponds with broader academic findings: digital transformation in government is a process of reconfiguring structures, services and administrative logic rather than a simple migration from paper to screen [7].

In HR management, this distinction is critical. A platform may formally automate recruitment, leave records, business trips, performance assessment or disciplinary control, while HR specialists still experience manual duplication, unclear role distribution and weak analytical support. Therefore, the quality of a digital HR ecosystem should be evaluated not only by the number of modules, but also by the extent to which the platform reduces routine work, supports evidence-based decisions and strengthens trust in personnel procedures.

2. The current role of E-Kyzmet in Kazakhstan's civil service. E-Kyzmet was introduced as a centralized information system for personnel management in state bodies. It has gradually expanded from basic HR record keeping to a multifunctional platform covering recruitment, personnel files, staffing structures, performance-related processes, training, business trips and control functions. According to the data analysed in this study, the system is used nationally and supports personnel data for more than 80 thousand active users, while the wider database includes information on more than 500 thousand employees and former employees. It has also developed more than 200 integrations with other state information systems.

The introduction of E-Kyzmet has produced clear administrative benefits. It has reduced

the volume of paper documents, standardized personnel procedures and created a common digital environment for state bodies. At the same time, the platform should now be assessed not only by the existence of modules, but also by its ability to transform accumulated HR data into evidence-based workforce planning. Table 2 presents quantitative indicators that show the scale of the HR data environment, while Table 3 summarizes the main barriers and modernization priorities for E-Kyzmet.

To evaluate E-Kyzmet as a digital HR ecosystem, it is necessary to consider both platform-specific indicators and the wider HR environment in which the platform operates. The following indicators link official staffing and competition data with the current modernization trajectory of E-Kyzmet.

Table 2 - Quantitative indicators for assessing E-Kyzmet and civil service HR digitalization

Indicator	Number	Analytical relevance
Staff positions and actual personnel base as of 1 January 2025	91 555 staff positions; 84 482 actual civil servants	Defines the national HR data perimeter and the personnel base for workforce planning.
Vacancies and long-term vacancies	7 073 vacant positions, including 1 599 long-term vacancies	Shows the need for vacancy forecasting, candidate matching and more effective digital recruitment.
Agency survey on staffing needs	33 329 respondents; 64% reported shortage of staff in sectoral units	Confirms that staffing shortages are perceived as a systemic HR problem.
Digital selection through the new system	12 110 competitions; 44 056 participants; 5 056 successful candidates	Shows the scale of digital recruitment and the volume of candidate data available for analytics.
Competition level in the new selection system	From 1.7 to 3.6 candidates per position	Indicates increased openness and attractiveness of digital recruitment procedures.
“Personnel Selection” functionality	Dynamic search based on a digital rating of education, work experience, achievements and risk factors	Moves E-Kyzmet from passive vacancy announcement toward proactive talent search.
New E-Kyzmet modules in 2024	24 new modules	Demonstrates functional expansion of the platform and the need for user-oriented process redesign.
HR indicators collected through E-Kyzmet-related monitoring	Staffing, education, length of service, turnover, appointments, probation, training and competition procedures	Provides a basis for dashboards, predictive analytics and strategic HR planning.

The table shows that the main challenge is no longer the absence of digital infrastructure. The platform currently supports the implementation of recruitment procedures through electronic verification of certificates and assessment results. The e-government service for searching vacancies and submitting applications allows candidates to find announced vacancies, submit an application and sign it with an electronic digital signature [5]. These elements show that Kazakhstan already possesses the basic infrastructure needed for a more advanced HR ecosystem.

The more important task is to convert accumulated personnel and recruitment data into integrated HR analytics, reliable digital profiles, competency-based planning and user-friendly decision-support tools (Table 3).

Table 3 - Main barriers and modernization priorities for E-Kyzmet

Problem area	Observed limitation	Modernization priority	Expected effect
Integration and data quality	Fragmented exchange with external state databases, repeated manual entry and inconsistent data verification.	Develop a unified digital personnel data contour with automated validation and standard data formats.	More reliable digital profiles and less routine work for HR units.
HR analytics	Limited capacity for workforce forecasting, turnover analysis, workload diagnostics and competency mapping.	Introduce analytical dashboards, skills registers and predictive tools for personnel planning.	Evidence-based staffing, training and promotion decisions.
AI-supported recruitment	Current selection tools rely mainly on formal criteria and do not fully use structured competency data.	Pilot virtual assistants, algorithmic matching and transparent digital scoring with human oversight.	Faster recruitment, broader talent search and lower subjective bias.
Regulation and methodology	Rules for digital profiles, electronic HR processes, AI use and responsibility for data quality remain insufficiently detailed.	Adopt process rules for E-Kyzmet, standards for AI use and clear responsibility for digital HR data.	Legal certainty and more consistent use across public bodies.
User experience and change management	Complex modules, role duplication, insufficient user support and resistance to digital work practices.	Simplify business processes, redesign roles and provide continuous training and methodological support.	Higher adoption, fewer errors and stronger trust in the platform.
Cybersecurity	Sensitive personnel data require strict access control, monitoring and protection against human-factor risks.	Strengthen role-based access, audit logs, incident response and cybersecurity training.	Reduced risk of data leakage and unauthorized actions.

However, the system still functions unevenly. In practice, some modules remain complicated and insufficiently adapted to the daily routines of HR units. Users reported that routine tasks may require unnecessary intermediate operations. For example, the preparation of time sheets for a specific period may require opening and closing several previous periods manually. The logic of rotation, incentives and personnel selection also needs further refinement because the system does not always reflect the real diversity of HR scenarios in public bodies.

The focus group discussions show that the difficulties with E-Kyzmet are not only technical but also connected with everyday administrative practice. Participants noted that the current platforms “do not provide the required level of analytics and predictive models for HR”, especially for such issues as staff turnover, succession planning and the identification of deficit competencies. This confirms that E-Kyzmet already contains important personnel data, but this data are still not sufficiently converted into analytical outputs for HR units and managers.

A separate problem raised during the discussion was the duplication of work. Participants described

“duplication of systems and manual data entry” as one of the practical obstacles to effective digitization. An example of the Ministry of Finance was mentioned in this regard: even where an internal information system exists, employees still must duplicate information in E-Kyzmet, which increases the workload of HR staff instead of reducing it.

The focus groups also showed that digital procedures are not always fully accepted in daily management practice. According to participants, “some managers still require paper copies or signatures” even when the relevant procedure is already available electronically. This means that digitization is slowed down not only by the platform itself but also by established organizational habits and the continuing reliance on paper-based confirmation.

Participants also pay attention to the reliability of data used in personnel decisions. They referred to cases of “unreliable data in eGov and E-Kyzmet”, including incorrect information in education documents or missing attachments and stamps. In such situations, the HR specialist still must recheck documents manually, because automatic verification mechanisms are not yet sufficiently developed.

Another recurring concern was the stability of the system. The report notes that E-Kyzmet “regularly gives failures”, and that recently entered information may “disappear or be displayed as incomplete”. For HR units, this created a need for additional manual control and reduces confidence in the system as a reliable source of personnel data.

Taken together, these examples show why the expansion of E-Kyzmet modules is not enough by itself. For the platform to become a mature digital HR ecosystem, personnel data should be connected across modules, automatically verified, synchronized with other systems and presented in a form that supports practical decisions on recruitment, training, workforce planning and staff development.

3. Regulatory and methodological gaps. The legal framework provides a general basis for automation and electronic interaction, but it does not yet fully regulate the next generation of HR technologies. The use of artificial intelligence, digital profiles, predictive analytics and automated recommendations in personnel decisions requires clearer rules. The OECD Recommendation on Artificial Intelligence emphasizes that AI systems should be human-centred, transparent, robust, secure and accountable [8]. These principles are directly relevant to civil service recruitment because personnel decisions affect careers, access to public employment and trust in state institutions.

In the Kazakhstani context, the absence of detailed methodological rules for some E-Kyzmet processes creates practical uncertainty. HR specialists may know that certain documents should be kept in electronic personal files, but still lack clear instructions for entering, verifying and updating all relevant information. This gap encourages informal consultations, repeated manual checks and inconsistent practices across state bodies. A mature HR ecosystem therefore requires not only software improvement, but also a detailed regulatory and methodological architecture.

4. Integration and data quality. The focus-group materials show that the integration of E-Kyzmet with other systems is one of the most frequently mentioned barriers. Public bodies use multiple digital resources, including E-Kyzmet, Documentolog, E-Otinish, e-government databases and sectoral information systems. In theory, integration should reduce duplication and improve the reliability of HR data. In practice, data may be incomplete, outdated or transferred in formats that require additional manual verification. This is particularly important for recruitment because civil service legislation sets legal restrictions and qualification requirements that must be verified accurately.

Data quality is also an ethical issue. If a digital rating or candidate profile is formed based on incomplete, wrongly classified or poorly synchronized data, the system may produce an apparently objective but substantively unreliable recommendation. International literature on AI

in the public sector points to similar risks: algorithmic tools can increase efficiency, yet they also create challenges related to transparency, bias, accountability and explainability [9]. For this reason, E-Kyzmet modernization should include a data governance framework: clear data ownership, verification protocols, audit trails, error correction and rules for human review.

5. HR analytics and skills-based management. A major finding of the study is the weak development of HR analytics. Participants of the focus groups repeatedly noted that personnel services often remain concentrated on clerical administration. They lack tools for forecasting staff shortages, analysing turnover risks, identifying overloaded units, mapping competencies and planning individual learning trajectories. This limits the ability of state bodies to move from reactive vacancy filling to strategic workforce planning.

The importance of HR analytics is well established in contemporary human resource management. Evidence-based HR analytics links workforce data with organizational outcomes and helps managers make more informed decisions about recruitment, development and retention [10]. At the same time, scholars warn that technology in HRM produces value only when it is embedded in organizational strategy and supported by appropriate competencies [11]. For Kazakhstan's civil service, this means that E-Kyzmet should include not only standard reports, but also analytical dashboards, early warning indicators and tools for analysing skills gaps.

The development of a skills module is particularly important. Current recruitment and promotion procedures still rely heavily on formal indicators such as education, length of service and previous positions. These indicators are necessary but insufficient. A digital HR ecosystem should allow candidates and civil servants to accumulate verified information about specific hard and soft skills acquired during their career. Such a model would help match job profiles with real competencies, support targeted training and strengthen internal mobility. People analytics literature also emphasizes that the value of personnel data depends on clear conceptual boundaries and responsible use of information [12].

6. Artificial intelligence: opportunities and safeguards. The Concept for the Development of the Civil Service for 2024-2029 envisages the use of artificial intelligence in recruitment, including the analysis of candidate data, new approaches to assessing knowledge and competencies, virtual assistants for interviews and automatic notification of potential candidates [2]. These instruments may accelerate recruitment and reduce the administrative burden on HR units. AI-based tools could also help form talent pools, identify suitable candidates for vacancies and detect mismatches between position requirements and available competencies.

Nevertheless, AI should be introduced gradually and with safeguards. International studies on AI and advanced technologies in HRM show that such tools may support decision-making but also create risks of opacity, automation bias and excessive dependence on historical data [13]. In the civil service, these risks are even more sensitive because public employment must be based on legality, fairness and equal access. Therefore, AI in E-Kyzmet should not replace human responsibility. It should serve as a decision-support instrument with explainable criteria, auditability and the possibility of appeal or correction.

7. Human factor and organizational culture. The empirical materials demonstrate that the human factor remains a decisive condition for successful digitalization. In several focus groups, participants described resistance to change, distrust of algorithms, continued demand for paper duplicates and the perception that digitalization sometimes increases reporting instead of simplifying work. These reactions should not be interpreted only as conservatism. They also signal that users often experience digital platforms as externally imposed tools rather than as instruments designed around their practical needs.

A human-centric HR ecosystem must therefore be developed together with users. HR specialists, managers and ordinary civil servants should be involved in testing new modules, evaluating

interface logic and identifying unnecessary steps in business processes. The proposed establishment of a coordination council or expert user group under the authorized body would help filter new processes before they are fully deployed. Such a mechanism could reduce design errors, increase trust and make digital modernization more responsive to the realities of public administration.

Table 4 - Analytical framework for assessing digital HR ecosystem maturity

Dimension	Evidence from the study	Maturity gap	Direction of modernization
Data coverage	E-Kyzmet-related monitoring includes staffing, education, length of service, turnover, appointments, probation, training and competition data.	Data exists but are not always transformed into integrated analytics.	Unified HR data model and standardized dashboards.
Recruitment digitalization	Digital selection has scaled to 12 110 competitions and 44 056 participants.	Recruitment is more open, but candidate matching and post-selection analytics remain limited.	Link vacancies, candidate ratings, reserve data and appointment outcomes.
Predictive HR analytics	National data show vacancies, long-term vacancies and staff shortages.	HR units still rely on manual calculations and descriptive reports.	Predictive tools for vacancies, turnover, workload and skills gaps.
Competency management	The “Personnel Selection” function uses digital ratings and candidate profiles.	Competencies are not yet fully connected with training and career paths.	Competency register and individual learning trajectories.
User experience	Focus groups reported synchronization problems, duplication and unstable saving of information.	Users do not fully trust system outputs.	User journey redesign and regular user feedback.
Regulation and methodology	The platform is expanding faster than detailed process regulation.	Rules for AI, digital profiles and data responsibility remain insufficient.	Detailed E-Kyzmet rules and AI/data governance standards.
AI readiness	Project materials propose big-data and AI-supported HR tools.	Users express both interest and concern about algorithmic errors and bias.	Explainable AI with human oversight and appeal mechanisms.
Cybersecurity and trust	E-Kyzmet contains sensitive personal and career data.	Higher integration increases data-protection risks.	Role-based access, audit logs, incident response and cybersecurity training.

8. Cyber security and protection of personal data. E-Kyzmet contains sensitive personal and service-related information. As the number of integrations and analytical functions grows, cyber security becomes more important. The Law “On Informatization” provides the general legal basis for information systems and information security [4]. However, the expansion of digital profiles, AI-based recommendations and data exchange with other systems requires stricter technical and

organizational safeguards. Access rights should be simplified, clearly justified and monitored. Excessive or overlapping roles create risks of unauthorized actions, conflicts of interest and weak accountability.

Global GovTech experience shows that successful digital transformation depends not only on service delivery but also on interoperability, data governance and the institutional capacity to manage digital risks [14]. For E-Kyzmet, this means that cyber security should be integrated into the architecture of modernization rather than treated as a separate technical requirement. Regular audits, role-based access control, logging, backup procedures and incident response mechanisms should become part of the platform's operating model.

9. Connection between civil service and higher education. Another recurring theme in the focus groups was the gap between the needs of public bodies and university training. Participants noted that higher education programmes are often too general and not sufficiently connected to the competencies required in specific public-sector positions. This problem is directly linked to digital HR management. If E-Kyzmet can identify skills shortages and forecast future demand, state bodies will be able to formulate clearer requests to universities and professional development providers. In this sense, the HR ecosystem should extend beyond internal personnel administration and support cooperation between the state, universities and training institutions.

10. Towards a mature digital HR ecosystem. The UN E-Government Survey 2024 stresses that digital government should be sustainable, inclusive and oriented towards public value rather than limited to online availability of services [15]. Applying this logic to Kazakhstan's civil service, a mature digital HR ecosystem should combine: a unified digital profile of the civil servant; reliable integration with state databases; skills-based recruitment and development; predictive HR analytics; explainable AI; user-friendly interfaces; clear methodological rules; cyber security; and continuous training of HR specialists. Such an ecosystem would allow the state apparatus to move from formal personnel administration to proactive management of human capital.

Based on data analysis, national monitoring data and focus-group findings, the maturity of E-Kyzmet can be assessed through eight interrelated dimensions. This framework operationalizes the research hypothesis: the platform can become an effective HR ecosystem only when technological modernization is supported by regulation, reliable data, analytics, competencies and organizational trust.

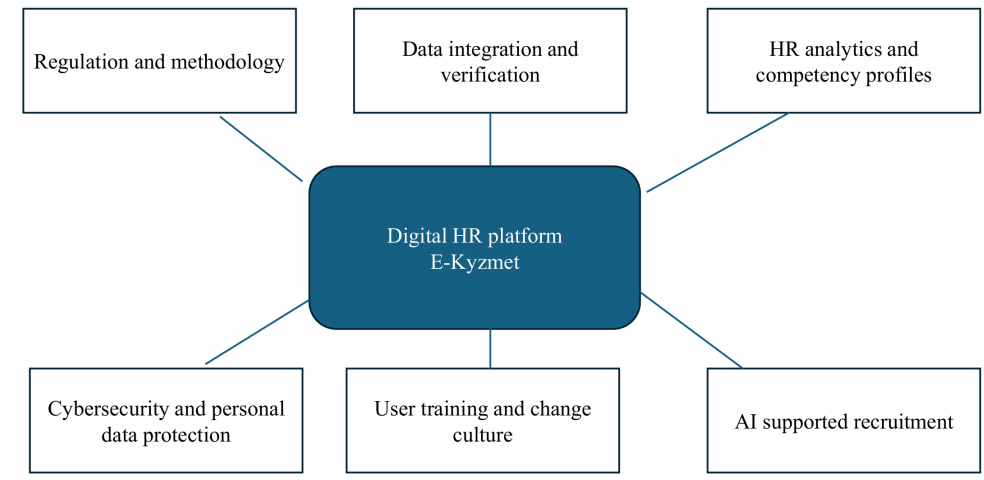


Fig.1 - Conceptual model of a human-centric digital HR ecosystem
Source: developed by the author based on the study results

The analysis confirms the research hypothesis. E-Kyzmet cannot become an effective HR ecosystem through technical modernization alone. Its future effectiveness depends on the alignment of regulation, data, competencies, analytics and organizational culture. The modernization of the platform should be treated as a public-management reform, not only as an IT project. The proposed ecosystem logic is presented in Figure 1.

Conclusions. The study confirms that E-Kyzmet has become a key digital infrastructure for personnel management in Kazakhstan's civil service. The system now supports not only personnel administration, but also digital recruitment, reserve management, HR monitoring and the automation of selected personnel processes. The Agency's National Report confirms the scaling of the new digital selection system, the introduction of dynamic candidate search through the "Personnel Selection" functionality and the implementation of 24 new E-Kyzmet modules in 2024.

At the same time, the findings show that E-Kyzmet is still at a transitional stage between administrative digitalization and a mature HR ecosystem. The main constraint is not the lack of digital tools, but the insufficient integration of data, analytics, regulation and user-oriented processes. Focus-group evidence confirms that HR specialists continue to face fragmented data, manual duplication, incomplete synchronization and technical instability.

The research hypothesis is therefore confirmed: technological modernization alone is not sufficient. E-Kyzmet can become a human-centric digital HR ecosystem only if platform development is aligned with legal regulation, reliable data exchange, predictive HR analytics, digital competencies, cybersecurity and organizational trust. The proposed maturity framework can be used as a practical tool for assessing this transition and identifying priority areas for modernization.

Future research should compare Kazakhstan's experience with international public-sector HR platforms and GovTech practices, especially in the areas of AI-supported recruitment, competency-based workforce planning, digital profiles, data governance and ethical safeguards in HR analytics.

Funding. *This research is funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (BR24993258).*

Литература

1. О государственной службе Республики Казахстан. Закон Республики Казахстан. -2015. -№ 416-V ЗРК. URL: https://adilet.zan.kz. -Дата обращения: 14.02.2026.

2. Об утверждении Концепции развития государственной службы Республики Казахстан на 2024-2029 годы. Указ Президента Республики Казахстан. -2024. -№ 602. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2400000602. -Дата обращения: 14.02.2026.

3. Агентство Республики Казахстан по делам государственной службы. Национальный доклад о состоянии государственной службы в Республике Казахстан. -2025. URL: https://www.gov.kz. -Дата обращения: 14.02.2026.

4. Об информатизации. Закон Республики Казахстан. -2015. -№ 418-V ЗРК. URL: https://adilet.zan.kz. -Дата обращения: 14.02.2026.

5. Портал электронного правительства Республики Казахстан. Как поступить на государственную службу в Казахстане. -2024. URL: https://egov.kz. -Дата обращения: 14.02.2026.

6. OECD. OECD Public Governance Scan of Kazakhstan/ Paris. OECD Publishing. -2025. -URL: https://www.oecd.org. -Дата обращения: 13.02.2026.

7. Mergel I., Edelmann N., Haug N. Defining digital transformation: Results from expert interviews // Government Information Quarterly. -2019. -Vol.36(4): 101385. DOI 10.1016/j.giq.2019.06.002.

8. OECD. Recommendation of the Council on Artificial Intelligence/Paris. OECD Publishing. -2024. -№ OECD/LEGAL/0449. URL: https://legalinstruments.oecd.org. -Дата обращения: 13.02.2026.

9. Wirtz B.W., Weyerer J.C., Geyer C. Artificial Intelligence and the Public Sector – Applications and Challenges // International Journal of Public Administration. -2019. -Vol.42(7). -P.596-615. DOI 10.1080/01900692.2018.1498103.

10. Marler J.H., Boudreau J.W. An evidence-based review of HR Analytics // The International Journal of Human Resource Management. -2017. -Vol. 28(1). -P.3-26. DOI 10.1080/09585192.2016.1244699.

11. Bondarouk T., Brewster C. Conceptualising the future of HRM and technology research // The International Journal of Human Resource Management. -2016. -Vol.27(21). -P.2652-2671. DOI:10.1080/09585192.2016.1232296.

12. Tursunbayeva A., Di Lauro S., Pagliari C. People analytics: A scoping review of conceptual boundaries and value propositions // International Journal of Information Management. -2018. -Vol.43. -P.224-247. DOI 10.1016/j.ijinfomgt.2018.08.002.

13. Vrontis D., Christofi M., Pereira V., Tarba S., Makrides A., Trichina E. Artificial intelligence, robotics, advanced technologies and human resource management: A systematic review // The International Journal of Human Resource Management. -2022. -Vol.33(6). -P.1237-1266. DOI 10.1080/09585192.2020.1871398.

14. World Bank. GovTech Maturity Index, 2022 Update: Trends in Public Sector Digital Transformation/World Bank Publishing. -2022. DOI 10.1596/38499.

15. United Nations. E-Government Survey 2024: Accelerating Digital Transformation for Sustainable Development/United Nations Publishing. -2024. -205p. ISBN 9789211067286, 9789210032667, 9789211067293, 2411-825, 2411-829X.

References

1. O gosudarstvennoj sluzhbe Respubliki Kazahstan. Zakon Respubliki Kazahstan. -2015. -No.416-V ZRK. URL: https://adilet.zan.kz. -Date of access: 14.02.2026. [in Russian]

2. Ob utverzhdenii Koncepcii razvitija gosudarstvennoj sluzhby Respubliki Kazahstan na 2024-2029 gody. Ukaz Prezidenta Respubliki Kazahstan. -2024. -№ 602. URL: https://adilet.zan.kz. - Date of access: 14.02.2026. [in Russian]

3. Agentstvo Respubliki Kazahstan po delam gosudarstvennoj sluzhby. Nacional’ nyj doklad o sostojanii gosudarstvennoj sluzhby v Respublike Kazahstan. -2025. URL: https://www.gov.kz. - Date of access: 14.02.2026. [in Russian]

4. Ob informatizacii. Zakon Respubliki Kazahstan. -2015. -№ 418-V ZRK. URL: https://adilet.zan.kz. - Date of access: 14.02.2026. [in Russian]

5. Portal jelektronnogo pravitel’ stva Respubliki Kazahstan. Kak postupit’ na gosudarstvennuju sluzhbu v Kazahstane. -2024. URL: https://egov.kz. - Date of access: 14.02.2026. [in Russian]

6. OECD. OECD Public Governance Scan of Kazakhstan/ Paris. OECD Publishing. -2025. -URL: https://www.oecd.org. -Date of access: 13.02.2026.

7. Mergel I., Edelmann N., Haug N. Defining digital transformation: Results from expert interviews // Government Information Quarterly. -2019. -Vol.36(4): 101385. DOI 10.1016/j.giq.2019.06.002.

8. OECD. Recommendation of the Council on Artificial Intelligence/Paris. OECD Publishing. -2024. -№ OECD/LEGAL/0449. URL: https://legalinstruments.oecd.org. -Date of access: 13.02.2026.

9. Wirtz B.W., Weyerer J.C., Geyer C. Artificial Intelligence and the Public Sector – Applications and Challenges // International Journal of Public Administration. -2019. -Vol.42(7). -P.596-615. DOI 10.1080/01900692.2018.1498103.

10. Marler J.H., Boudreau J.W. An evidence-based review of HR Analytics // The International Journal of Human Resource Management. -2017. -Vol. 28(1). -P.3-26. DOI 10.1080/09585192.2016.1244699.

11. Bondarouk T., Brewster C. Conceptualising the future of HRM and technology research // The International Journal of Human Resource Management. -2016. -Vol.27(21). -P.2652-2671. DOI 10.1080/09585192.2016.1232296.

12. Tursunbayeva A., Di Lauro S., Pagliari C. People analytics: A scoping review of conceptual boundaries and value propositions // International Journal of Information Management. -2018. -Vol.43. -P.224-247. DOI 10.1016/j.ijinfomgt.2018.08.002.

13. Vrontis D., Christofi M., Pereira V., Tarba S., Makrides A., Trichina E. Artificial intelligence, robotics, advanced technologies and human resource management: A systematic review // The International Journal of Human Resource Management. -2022. -Vol.33(6). -P.1237-1266. DOI 10.1080/09585192.2020.1871398.

14. World Bank. GovTech Maturity Index, 2022 Update: Trends in Public Sector Digital Transformation/World Bank Publishing. -2022. DOI 10.1596/38499.

15. United Nations. E-Government Survey 2024: Accelerating Digital Transformation for Sustainable Development/United Nations Publishing. -2024. -205p. ISBN: 9789211067286, 9789210032667, 9789211067293, 2411-825, 2411-829X.

Information about the authors

Amirova A. K. - Doctor of Public Administration, Assistant Professor, Astana IT University, Astana, Kazakhstan, e-mail:a.amirova@astanait.edu.kz.

Сведения об авторе

Амирова А. К. - доктор по профилю «Государственное и местное управление», ассистент профессор, Astana IT University, Астана, Казахстан, e-mail: a.amirova@astanait.edu.kz.

МРНТИ 06.71.02 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1542**

BCG МАТРИЦАНЫ ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ ҚАЗАҚСТАН АЙМАҚТАРЫНДАҒЫ ҚОНАҚ ҮЙ БИЗНЕСІНІҢ ЖАҒДАЙЫН БАҒАЛАУ

Н.А. Урузбаева
Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Корреспондент-автор: nazym_amen@mail.ru

Бұл мақалада Қазақстан аймақтарындағы қонақ үй шаруашылығына салыстырмалы талдау жасалған. Ол ел аймақтары бойынша қонақ үй кәсіпорындарының санын, қызмет көрсетілетін қонақтардың санын және қонақ үй кәсіпорындары көрсететін қызметтер көлемін сипаттайтын негізгі көрсеткіштердің жалпы оң үрдістерін көрсетеді. Қонақ үй индустриясының дамуы мен құрылымындағы аймақтық сипаттамалар мен диспропорциялар анықталған. Қонақ үй индустриясының бизнес ретіндегі маңызды әлеуметтік-экономикалық маңызын ескере отырып, жетекші және нашар жұмыс істейтін аймақтарды анықтай отырып, оның табыстылығына ерекше көңіл бөлінеді.

Зерттеу сонымен қатар қонақ үй мен туризмді дамытудың перспективалық әлеуеті бар аймақтарды анықтауға тырысты. Осы мақсатта әрбір аймақтың позициясы салыстырмалы кірістілік пен ұсынылатын қызметтердің өсу қарқыны негізінде бағаланды. Әмбебап BCG (Boston Consulting Group) матрицасы қонақ үй индустриясының аймақтық деңгейіне бейімделген.

Алынған нәтижелер аймақтардағы қонақ үй индустриясының жай-күйін нақтырақ түсінуге мүмкіндік береді, өйткені олар абсолютті кірістілік көрсеткіштерін ғана емес, салыстырмалы көрсеткіштерін де ескереді. Бұл нәтижелердің практикалық маңыздылығы осы әдістеме арқылы алынған ақпаратты туризм мен қонақжайлылықты дамытудың аймақтық бас жоспарларын әзірлеуде, сондай-ақ инвестициялық және маркетингтік шешімдер қабылдауда пайдалануға болатынында.

Түйін сөздер: қонақ үй бизнесі, мейрамханасы бар қонақ үйлер, мейрамханасы жоқ қонақ үйлер, аймақтар, қонақ үй бизнесінің табыстылығы, қонақ үй бизнесін бағалау, BCG матрицасы.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ГОСТИНИЧНОГО БИЗНЕСА В РЕГИОНАХ КАЗАХСТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТРИЦЫ BCG

Н.А. Урузбаева
ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан,
e-mail: nazym_amen@mail.ru

В данной статье проведен сравнительный анализ состояния гостиничного бизнеса в регионах Казахстана. Выявлена положительная, в целом, динамика основных показателей, характеризующих численность гостиничного бизнеса, обслуженных посетителей, объема оказанных гостиничными предприятиями услуг в регионах страны. Определены региональные особенности и диспропорции в развитии гостиничного бизнеса, его структуре.

Учитывая важное социально-экономическое значение гостиничного бизнеса как вида предпринимательской деятельности, особое внимание уделено его доходности, выявлены регионы-лидеры и регионы-аутсайдеры.

В ходе исследования ставилась также задача выявления регионов, перспективных с точки зрения развития гостиничного и туристского бизнеса. Для этого была сделана оценка позиции каждого региона по относительной доходности и темпам роста объема оказанных услуг. При этом к региональному уровню гостиничного бизнеса была адаптирована универсальная матрица БКГ (Бостонской консалтинговой группы).

Полученные результаты дают более конкретное представление о состоянии гостиничного бизнеса в регионах, поскольку здесь принимаются во внимание не только абсолютные показатели

доходности, но и относительные. Практическое значение полученных результатов состоит в том, что информация, получаемая на основе применения данной методики может быть использована при составлении региональных мастер-планов по развитию туризма и гостеприимства, принятии инвестиционных и маркетинговых решений.

Ключевые слова: гостиничный бизнес, гостиницы с ресторанами, гостиницы без ресторанов, регионы, доходность гостиничного бизнеса, оценка гостиничного бизнеса, матрица БКГ.

ASSESSMENT OF THE STATE OF THE HOTEL BUSINESS IN THE REGIONS OF KAZAKHSTAN USING THE BCG MATRIX

N.A. Uruzbayeva

L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan,
e-mail: nazym_amen@mail.ru

This article provides a comparative analysis of the hotel industry in Kazakhstan' s regions. It reveals generally positive trends in key indicators characterizing the number of hotel businesses, the number of guests served, and the volume of services provided by hotel enterprises across the country' s regions. Regional characteristics and disparities in the development and structure of the hotel industry are identified.

Given the significant socioeconomic significance of the hotel business as a business, special attention was paid to its profitability, identifying leading and underperforming regions.

The study also sought to identify regions with promising potential for hotel and tourism development. To this end, each region' s position was assessed based on relative profitability and growth rates of services provided. The universal BCG (Boston Consulting Group) matrix was adapted to the regional level of the hotel industry.

The results obtained provide a more concrete understanding of the state of the hotel industry in the regions, as they take into account not only absolute profitability indicators but also relative ones. The practical significance of these results lies in the fact that the information obtained through this methodology can be used in developing regional master plans for tourism and hospitality development, as well as in making investment and marketing decisions.

Keywords: hotel business, hotels with restaurants, hotels without restaurants, regions, hotel business profitability, hotel business valuation, BCG matrix.

Введение. Гостиничный бизнес - одна из наиболее привлекательных и быстро развивающихся сфер экономики. В 2024 году мировой рынок гостиничного бизнеса вырос примерно до 4,9 триллиона долларов США. Глобальный экономический вклад сектора составляет около 10% мирового ВВП Наблюдается динамичный рост доходности гостиничного бизнеса. В частности, в Казахстане ежегодный темп роста выручки гостиничного сектора составляет около 5,85%. К 2030 году объём рынка составит 775,03 млн долл., а число пользователей увеличится до 5,82 млн человек [1]. Это свидетельствует о прибыльности данного сектора и его существенном влиянии на экономику регионов, занятость населения.

В Казахстане развитие гостиничного сектора имеет свои отличительные особенности и, в частности, неравномерность развития по регионам. Причем, несмотря на тесную корреляцию гостиничного и туристского бизнеса, некоторые регионы с достаточным туристским потенциалом не демонстрируют высокие показатели развития рассматриваемого сектора. Вероятно, и местные органы власти также не рассматривают гостиничный сектор в качестве «драйвера» экономики и источника роста доходов населения.

Между тем, диспропорции в развитии гостиничного бизнеса регионов должны стать предметом внимания государственных и местных органов власти, поскольку недостаточность инфра-

структуры размещения напрямую влияет на туристскую привлекательность регионов и приток посетителей. Об этом свидетельствует и остающиеся пока невысокими позиции Казахстана в мировом Индексе развития путешествий и туризма по показателю туристской инфраструктуры и сервиса - 47 место среди 119 стран [2].

В последние годы гостиничный бизнес Казахстана в целом, равно как и его регионов, стал больше зарабатывать и приносить доходы в республиканский и местный бюджеты. Вместе с тем, важно знать, какие регионы в перспективе могут улучшить свое положение и стать одними из «локомотивов» экономики. Учитывая актуальность оценки экономического состояния гостиничного бизнеса в регионах Казахстана, автором была предпринята попытка использования и адаптации универсальной матрицы Бостонской консалтинговой группы применительно к региональному гостиничному сектору.

Объектом исследования является гостиничный бизнес регионов Казахстана. В качестве цели исследования ставилось определение состояния регионального гостиничного бизнеса в Казахстане и на этой основе выявление наиболее перспективных регионов в плане развития гостиничного и туристского бизнеса. В ходе исследования использовались методы сравнительного анализа и группировки, матричный метод Бостонской консалтинговой группы.

В результате проведенного исследования были выявлены особенности развития гостиничного бизнеса в регионах Казахстана и положение каждого региона на основе построенной матрицы Бостонской консалтинговой группы. Эти данные могут служить основой для государственных и местных органов власти при принятии управленческих решений в области туризма и гостеприимства, разработке инфраструктурных проектов.

Литературный обзор. Учитывая возрастающий интерес к туризму, в научной литературе все больше внимания уделяется и исследованию вопросов развития гостиничного сектора как важнейшей составляющей инфраструктуры индустрии туризма. Именно такой подход больше преобладает в трудах зарубежных и казахстанских ученых: Дж. Уокера [3], Е.А. Джанджугазовой [4], Л. Вагена [5], Г.К. Шогельбаевой [6] и других.

Между тем, исследования гостиничного бизнеса как привлекательной сферы, способной генерировать высокий доход, встречаются реже. Преимущественно, их можно найти в трудах российских и казахстанских ученых, среди них можно отметить исследования авторов, которые связывают понятие гостеприимства с предпринимательской деятельностью. Например, у С.В. Митрофанова [7], А. Рамазанова, Ж.Куралова [8] и других.

Специальные исследования, посвященные вопросам оценки гостиничного бизнеса регионов, пока не нашли адекватного потребностям практики отражения в экономической литературе. В частности, пока не предпринимались попытки оценки состояния гостиничного бизнеса, его доходности на основе матрицы БКГ.

С учетом вышесказанного, исследуемая автором проблема представляется актуальной как в практическом, так и теоретическом плане.

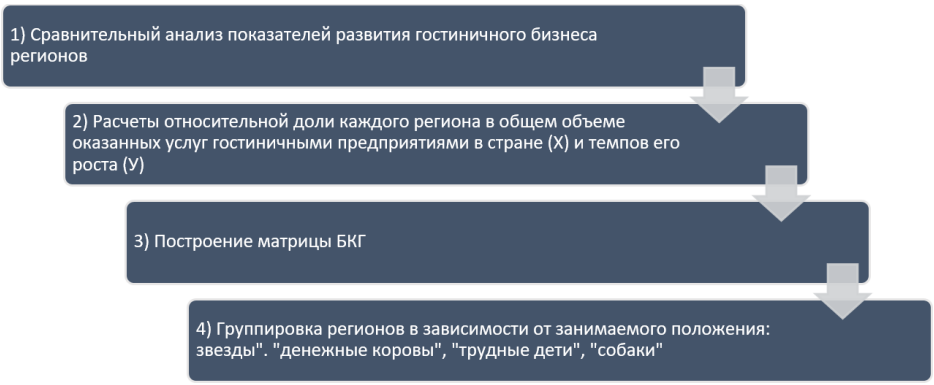
Материалы и методы. Проблема сравнительной оценки гостиничного бизнеса регионов пока еще недостаточно освещена в трудах отечественных ученых. Более того, существует необходимость приоритетного подхода к гостиничной индустрии как разновидности бизнеса, приносящего прибыль. В этой связи, требуется оценка доходности и вклада каждого региона в общий объем услуг, оказанный гостиничными предприятиями страны. В официальной статистике учет ведется по объему оказанных услуг гостиницами с ресторанами и гостиницами без ресторанов.

Для анализа текущего состояния и динамики развития гостиничного бизнеса регионов Республики Казахстан использовались методы сравнительного анализа и группировки. На основе проведенного анализа и выявленной динамики была сформирована Рабочая таблица, в которой были отражены результаты расчетов относительной доли каждого региона в общем объеме

оказанных услуг гостиничными предприятиями в стране, а также абсолютный объем оказанных услуг регионов и темпы его роста.

Для выявления сравнительного уровня доходности каждой области и города республиканского значения была применена и адаптирована к региональному уровню известная методика Бостонской консалтинговой группы – матрица БКГ. В качестве базы для сравнения темпов роста объема оказанных услуг гостиничными предприятиями регионов в 2024 году был принят 2022 год, поскольку именно начиная с данного периода в Казахстане административно-территориальное деление было представлено 17 областями и 3 городами республиканского значения.

Алгоритм данного исследования охватывает 4 этапа:



Сравнительный анализ показателей гостиничного бизнеса позволил выявить особенности его развития в регионах и провести расчеты для построения матрицы БКГ. На основании матрицы была проведена группировка регионов Казахстана в соответствии с их занимаемым положением.

В ходе исследования автор столкнулся с некоторыми ограничениями в виде недостаточной статистической и информационной базы. По мере совершенствования статистического учета, у исследователей расширятся возможности для более обширного и глубокого анализа данной проблематики. Кроме того, по мере дальнейшего развития образованных в 2022 году регионов страны, увеличится временной лаг для проведения исследований, что, вероятно, повысит научную обоснованность их результатов.

Обсуждение и результаты. Анализ основных показателей развития гостиничного бизнеса показал его достаточно высокую динамику в целом по стране. Данный сектор практически полностью восстановился в постпандемийный период и большинство регионов страны продемонстрировали постепенный, а отдельные из них и быстрый рост. Однако, в анализируемый период – с 2019 по 2024 годы темпы развития гостиничного бизнеса характеризуются порой существенными диспропорциями. В представленной ниже таблице 1 отражена численность гостиниц с ресторанами и гостиниц без ресторанов.

Наибольшее количество гостиниц с ресторанами и без ресторанов расположено в южной столице - 237 единиц на 2024 год. Это десятая часть гостиничного сектора страны (10,2%). Однако, по сравнению с 2019 годом их численность уменьшилась на 4 единицы. Наибольший пик пришелся на 2022 год, когда их число возросло до 274 гостиниц, что связано было со строительством нескольких высококатегорийных отелей (Swissôtel Wellness Resort Alatau Almaty, Milanium hotel, Inter-Continental Холидей Инн Экспресс), а также открытием ряда бюджетных гостиниц, что было обусловлено возросшим спросом на доступные средства размещения (в частности, за счет релокантов, прибывших в 2022 году из России). Однако, в 2023 году гостиницы сократились на 49 единиц, преиму-

щественно, за счет закрытия гостиниц меньшей звездности. Учитывая планируемое расширение номерного фонда в три раза, предусмотренное Программой развития Алматы до 2030 года за счет привлечения международных гостиничных сетей и строительства отелей, мегаполис в ближайшей перспективе, очевидно, останется безусловным доминантом.

Таблица 1 - Количество гостиниц с ресторанами и без ресторанов в регионах Республики Казахстан за 2019-2024 годы

	2019	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
Республика Казахстан	2095	1726	2144	2302	2225	2327
Абай	-	-	-	104	110	106
Акмолинская	155	156	167	172	160	177
Актюбинская	61	60	57	59	57	58
Алматинская	317	217	225	114	119	132
Атырауская	64	88	92	104	103	106
Западно-Казахстанская	35	40	48	55	60	63
Жамбылская	159	161	160	180	182	177
Жетiсу	-	-	-	114	110	126
Карагандинская	148	146	147	139	138	134
Костанайская	105	108	110	114	100	98
Кызылординская	2	93	97	104	110	117
Мангистауская	67	69	75	77	80	86
Павлодарская	58	65	61	73	64	71
Северо-Казахстанская	56	51	55	57	53	55
Туркестанская	113	122	134	142	139	149
Ұлытау	-	-	-	17	17	21
Восточно-Казахстанская	5	179	176	85	84	83
г. Астана	173	185	184	192	189	204
г. Алматы	241	242	246	274	225	237
г. Шымкент	87	96	104	126	125	127
Примечание – Составлено автором на основе данных [9]						

В пятерку лидеров также входят Астана (204 ед.), Акмолинская и Жамбылская области – по 177 гостиниц и Туркестанская область -149 гостиниц. Положительную динамику роста за 2019-2024 годы проявили Кызылординская, Акмолинская, Атырауская, Западно-Казахстанская, Жамбылская, Мангистауская, Павлодарская, Туркестанская, Восточно-Казахстанская области, Астана и Шымкент.

Подавляющее большинство гостиничных предприятий в стране безкатегорийные, их насчитывалось 2211 единиц в 2024 году, отелей с категориями гораздо ниже - 116 единиц. Лидерами по числу гостиниц без категорий явля-

ются Алматы (213), Астана (180), Жамбылская область (171), Акмолинская область (167), Туркестанская область (149) единиц. Среди категорийных, большинство гостиничных предприятий имеют 4 звезды - в 2024 году их насчитывалось 53 единицы в целом по стране, затем идут 3* отели - 32 единицы, 5* - 25 отелей, 2* - 4 единицы и 1* - 2 единицы. Таким образом, среди категорийных отелей доминируют предприятия 4 и 5 звезд, в совокупности они составляли в 2024 году 78 единиц. Сложившаяся структура гостиничного сектора обусловлена, вероятно, экономическим интересом, который проявляют субъекты бизнеса и инвесторы к гостиницам с большим номерным фондом, которые хоть и требуют больших затрат, но достаточно быстро окупают себя, поскольку могут зарабатывать не только на продаже от основных, но и от дополнительных услуг - открытия бутиков, мероприятий делового, культурного, развлекательного и прочего формата.

Что касается локации высококатегорийных отелей, то гостиницы 5 звезд расположены в Алматы (7), Астане (6), Мангистуской области (3), Атырауской области (3), Шымкенте (1), Акмолинской области (1), ВКО (1), Карагандинской области (1), Жамбылской (1), Туркестанской области (1) и Кызылординской области (1). Преимущественная концентрация – в регионах с преобладанием деловых туристов: северной и южной столицах, нефтяных регионах и регионах с динамичным развитием туризма, среди которых особенно следует отметить Мангистаускую область.

Четырехзвездочные гостиницы расположены в 13 регионах. Впереди в 2024 году также шла южная столица (14), следом располагалась Астана (11) единиц. Среди областей лидировали Акмолинская область - 6 гостиниц, которые преимущественно размещаются в Щучинско-Боровской курортной зоне. Интересен факт отсутствия гостиниц категории 4 звезды в таких развитых туристских регионах, как Павлодарская область и ВКО.

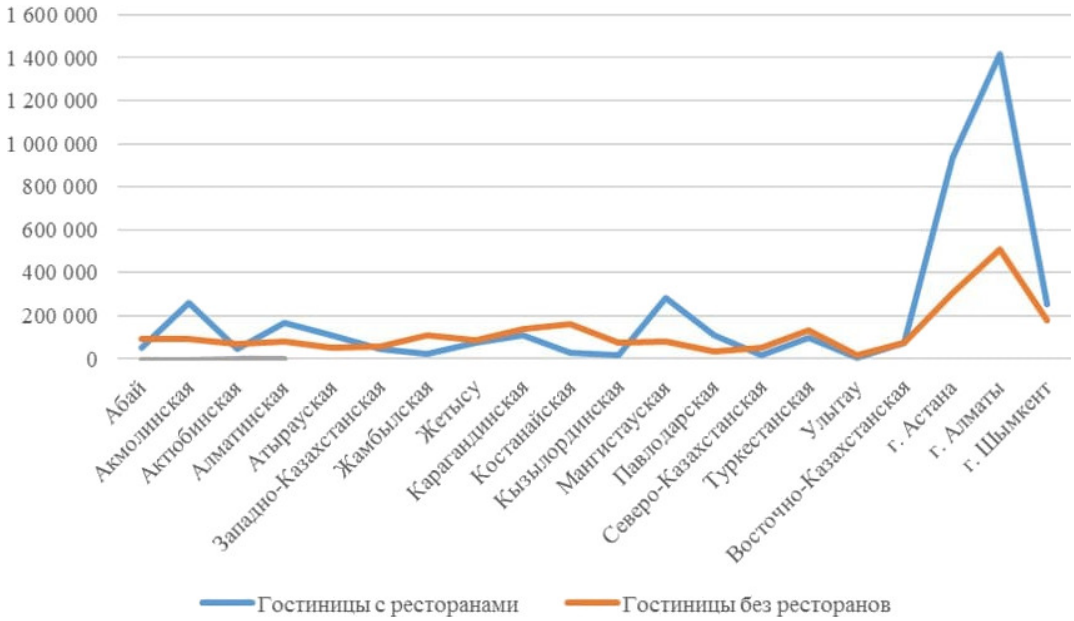


Рис.1 - Количество обслуженных посетителей по типам гостиниц в 2024 году, человек

Примечание - Составлено автором на основе данных [9]

Положительная динамика за анализируемый период наблюдается по показателям экономической деятельности гостиничных предприятий, за исключением пандемийного периода (рис.1).

С большим отрывом от других регионов по числу обслуженных посетителей идет Алматы

- 2157769 человек в 2024 году. По сравнению с 2019 годом их число выросло на 69,9%. При этом гостиницы с ресторанами обслужили 1 640 310, а без ресторанов - 517 459 чел. Согласно статистике, каждый второй иностранный турист, побывавший в Казахстане, остановил свой выбор на южной столице. На втором месте находится Астана - 1398879 чел. (1 044 542 ч. ресторанами и 354 337 без ресторанов). На третьем месте располагается Шымкент - 485744 чел. (282 429 с ресторанами и 203 315 без ресторанов), на четвертом Мангистауская область – 416274 чел. (339 254 с ресторанами и 77 020 без ресторанов). На пятом Акмолинская область - 383007 чел. (287 609 с ресторанами и 95 398 без ресторанов). В совокупности, эта пятерка занимала в 2024 году 66,5% от общереспубликанского значения данного показателя.

Такая ситуация объяснима тем, что данные регионы динамично развивающиеся в плане туризма территории. Примечательно, что Мангистауская область по числу гостиниц с ресторанами и без ресторанов находилась в 2024 году лишь на 14 месте, но при этом обслужила больше посетителей, чем другие регионы. Очевидно, такое положение дел можно объяснить также размером номерного фонда гостиниц области. Например, по числу 5* гостиниц Мангыстау занимает третье место (3) после Алматы (7) и Астаны (6). Мангыстау является также одним из лидеров по продолжительности пребывания туристов. Опережает всех по данному показателю Алматы - это развитая туристская дестинация, привлекающая ежегодно наибольшее число туристов, а также лидирующая в республике по продолжительности их пребывания. По данным Министерства туризма и спорта, средняя продолжительность пребывания туристов по стране в 2025 году составляла 4 дня, тогда как в Мангистауской области 7 дней, в Алматы 6 дней.

Ниже на рисунке 2 показаны лучшие отели страны, исходя из количества обслуженных посетителей за 2024 год.

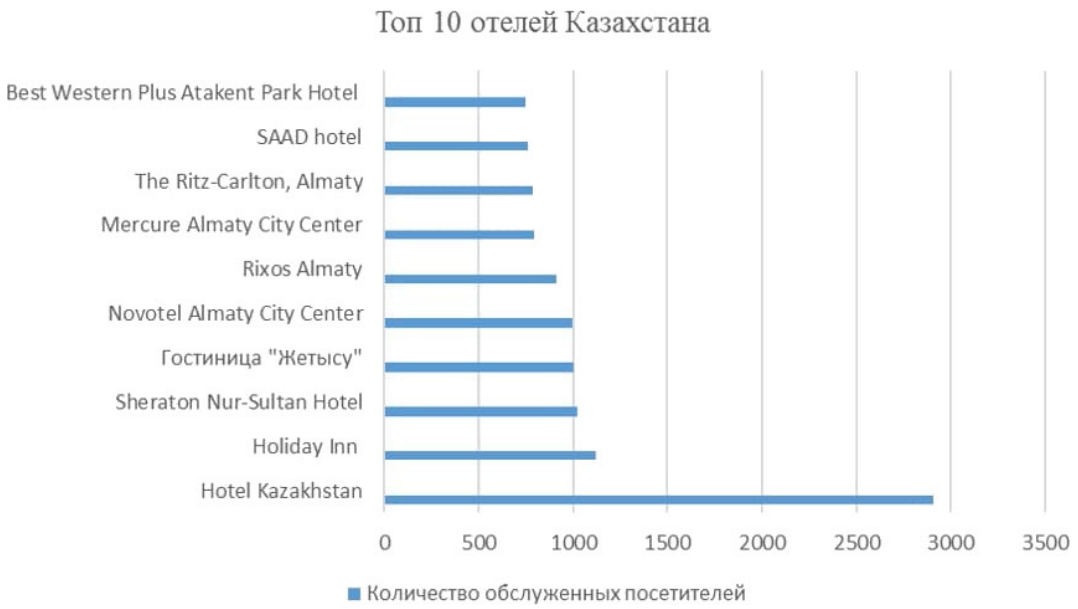


Рис.2 - Топ 10 отелей Казахстана по числу обслуженных посетителей на декабрь 2024 года, человек
Примечание - Составлено автором на основе данных [10]

Как видно из рисунка 2, подавляющее большинство лучших по числу обслуженных посетителей отелей находятся в южной столице и только два из них в Астане. Данная статистика также подтверждает статус Алматы как главного центра развития гостиничного бизнеса в Казахстане.

Рассматривая гостиничный сектор как бизнес, важное значение приобретает показатель его доходности. Официальная статистика ведет в этом плане учет показателя объема услуг, оказанного гостиничными предприятиями. Данный показатель, безусловно, связан с численностью обслуженных посетителей гостиничными предприятиями, но нельзя забывать, что он также подвержен и влиянию инфляции. Рост доходности отелей может происходить и за счет роста цен, что следует принимать во внимание исследователям.



Рис.3 - Объем услуг, оказанный гостиничными предприятиями за 2024 год, тыс. тенге
Примечание - Составлено автором на основе данных [9]

По объему оказанных гостиничными предприятиями услуг со значительным отрывом от других регионов идет южная столица (рис.3). В 2024 году гостиницы с ресторанами и без ресторанов заработали 91639213,7 тыс. тенге. Для сравнения в Астане доход гостиничного сектора составил 55986230,5 тыс. тенге, что на 63,7% меньше чем у лидера. Остальные регионы заработали значительно меньше по итогам 2024 года. Это касается даже развитых туристских регионов: Акмолинскую (20326927,9 тыс. тенге), Мангистаускую области (16996289,2 тыс. тенге) и город республиканского значения Шымкент (10379448,3 тыс. тенге). В Алматы по итогам 2023 года рассматриваемый показатель составил 72054323,8 тыс. тенге (рост в 2024 году на 27,2%). Но в Астане темп прироста по сравнению с предыдущим годом выше, чем в южной столице и других регионах: в 2023 году гостиницами был получен доход в 41698720 тыс. тенге (в 2024 рост произошел на 34,3%). Также наибольший рост показателя в 2024 году по сравнению с предыдущим годом продемонстрировали: Акмолинская область в 2023 году - 16299872 тыс. тенге (рост в 2024 на 24,7%), Мангистауская область-13791251,6 тыс. тенге (рост в 2024 на 23,2%), Шымкент- 7830417,8 тыс. тенге (рост в 2024 на 32,6%). Таким образом, самый быстрый прирост доходности показали два города республиканского значения - Астана и Шымкент.

За анализируемый период, с 2019 года объем оказанных услуг возрос в Алматы на 192% (в 2019 году 31381662,3 тыс. тенге), Астане (25653218 тыс. тенге) на 118,2%, Акмолинской области (6100945 тыс. тенге) на 233,2%, Мангыстау (4010483,5 тыс. тенге) на 32,4%, Шымкенте (3947190,4 тыс. тенге) на 163%. Данные цифры говорят о том, что регионы не только достигли

по рассматриваемому показателю допандемийного периода, но и существенно превысили его. Эти же регионы, как указывалось ранее, являются доминантами по числу обслуженных посетителей гостиничными предприятиями, что объясняет также их высокую доходность по сравнению с другими регионами страны. Наиболее высокий прирост доходности продемонстрировала Акмолинская область. Число обслуженных посетителей гостиницами с ресторанами и без них возросло в 2024 году по сравнению с 2019 годом на 103,4% (187 858 человек в 2019 году). К примеру, даже у Алматы прирост был ниже и составил 69,9%.

Таблица 2 - Рабочая таблица для построения Матрицы БКГ

	Доля региона в общем объеме оказанных услуг гостиничными предприятиями страны, % (X)	**Темп роста объема оказанных гостинич-ными предприятиями услуг, % (Y)**	**Объем оказанных услуг гостиничными предприятиями региона в 2024г., тыс. тенге**
Абай	1,1	177,4	2733441,2
Акмолинская	8,1	153,2	20326927
Актюбинская	1,4	140,1	3586171,8
Алматинская	3,1	188,4	7793610,1
Атырауская	2,1	101,8	5354234,1
Западно-Казахстанская	1,6	131,5	3969689,7
Жамбылская	0,9	142,6	2337757,1
Жетісу	1,6	120,3	3922753,5
Карагандинская	2,3	153,6	5834458,2
Костанайская	1,1	126,0	2832658,6
Кызылординская	0,7	156,3	1722838,2
Мангистауская	6,8	155,5	16996280,2
Павлодарская	1,2	123,7	3097080,8
Северо-Казахстанская	0,6	142,7	1515899,3
Туркестанская	2,2	126,7	5577406,3
Ұлытау	0,2	193,7	608294,8
Восточно-Казахстанская	1,4	132,5	3544298
г. Астана	22,4	170,1	55986230,5
г. Алматы	36,7	168,4	91639213,7
г. Шымкент	4,2	132,5	10379448,3
Примечание – Составлено автором на основе расчетов			

Определенный научно-практический интерес представляет позицию каждого региона по относительной доходности и темпам роста объема оказанных услуг. Для этого к региональному уровню гостиничного бизнеса была адаптирована универсальная матрица БКГ. Предварительно была построена рабочая таблица 2. В качестве базы для сравнения темпов роста объема оказанных гостиничными предприятиями услуг в регионах был принят 2022 год, когда начали проводить статистический учет анализируемых показателей по всем 20 регионам.

Построив с помощью диаграммы матрицу БКГ (рис.4), можно увидеть положение каждого региона, соответствующее статусу «звезд», «денежных коров», «трудных детей» и «собак». В таблице 4 были сгруппированы регионы, согласно одной из занимаемых четырех позиций.

Четыре региона можно отнести к «звездам»: Алматы, Астану, Акмолинскую и Мангистаускую области. При этом все из них, кроме Астаны находятся в пограничном состоянии с «денежными коровами». Среди этих четырех регионов, Астана продемонстрировала в 2024 году более высокие темпы роста объема оказанных гостиничными предприятиями услуг. Пять регионов находятся в статусе «трудных детей»: Абай, Алматинская, Карагандинская, Павлодарская области, Улытау. И остальные находятся в статусе «собак». Стоит, вместе с тем отметить, что некоторые регионы здесь находятся в пограничном состоянии с «денежными коровами»: Шымкент, который имеет больше шансов перейти в статус «денежных коров», благодаря сравнительно среднему по стране вкладу в общий объем оказанных услуг гостиницами.

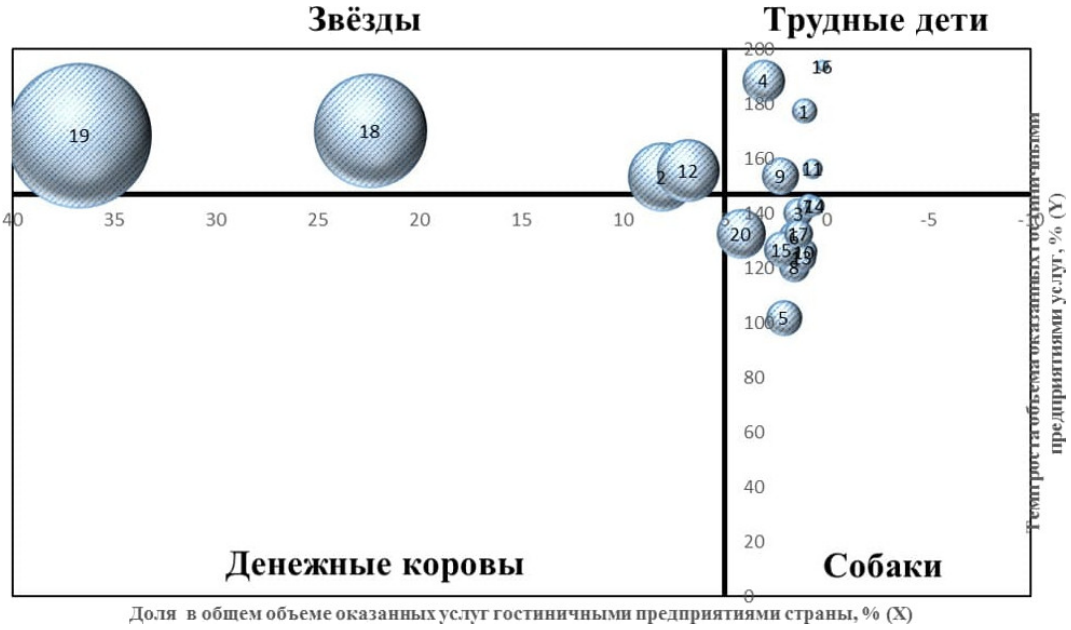


Рис.4 - Оценка положения регионов по доходности на основе использования матрицы БКГ

Примечание - Составлено автором: 1 - Абай; 2 - Акмолинская область; 3- Актюбинская; 4 - Алматинская; 5 -Атырауская; 6 - ЗКО; 7 - Жамбылская; 8 - Жетысу; 9 - Карагандинская; 10 - Костанайская; 11 - Кызылординская; 12 - Мангистауская; 13 - Павлодарская; 14 - СКО; 15 - Туркестанская; 16 - Улытау; 17 - ВКО; 18 - Астана; 19 - Алматы; 20 - Шымкент

СКО с Актюбинской областью находятся ближе к границе с «трудными детьми» благодаря сравнительно среднему по стране показателю темпов роста объема оказанных гостиничными предприятиями услуг. Интересен факт, что ни один из регионов не занимает положения «денежных коров», что можно объяснить, прежде всего, низкой долей большинства регионов

в общем объеме оказанных услуг гостиничными предприятиями страны. Причина этого лежит в невысокой доходности гостиничного бизнеса, значительным разрывом, порой в десятки раз, между регионами-лидерами и регионами-аутсайдерами. Это еще раз подтверждает тезис о неравномерности развития гостиничного бизнеса в регионах и порой значительных диспропорциях.

Несмотря на невысокую долю в общем объеме оказанных услуг гостиницами страны, значительные темпы роста доходности продемонстрировали недавно созданные регионы Улытау (193,7%) и Абай (177,4%), что даже превосходит аналогичные показатели у северных и южных столиц. Это наиболее перспективные в плане развития гостиничного бизнеса регионы, что объясняется их большим туристским потенциалом.

Сложившаяся картина в области развития гостиничного бизнеса в регионах в целом отражает уровень их туристской привлекательности, имеющийся туристский потенциал. Исключением здесь, пожалуй, служат Алматинская область и Жетысу, Шымкент и Туркестанская область, ВКО и Абай (после их разделения снизились численность гостиничных предприятий и объем оказанных услуг).

Таблица 3 - Позиции регионов в соответствии с матрицей БКГ

Звезды	**Денежные коровы**	**Трудные дети**	**Собаки**
Алматы Астана Акмолинская область Мангистауская область	-	Алматинская область Карагандинская область Абай Павлодарская область Улытау	Шымкент Туркестанская область ВКО Актюбинская область Атырауская область ЗКО Жамбылская область Жетысу Костанайская Кызылординская СКО
Примечание – Составлено автором			

Практическая значимость предложенной автором матрицы состоит в том, что она дает информацию государственным и местным органам власти, какую инвестиционную, маркетинговую стратегию развития туризма и гостеприимства следует применить для тех или иных регионов страны. И, прежде всего, тех регионов, которые имеют достаточный потенциал для развития сферы туризма и гостеприимства, но находятся при этом в статусе «собак». Развитый гостиничный сектор в регионах - это не только инфраструктура размещения, но и важный источник пополнения местных бюджетов налоговыми поступлениями, кроме того, гостиницами вносится вклад в повышение занятости населения и его доходов.

Выводы. Проведенное исследование выявило некоторые характерные особенности в развитии регионального гостиничного бизнеса Казахстана.

Во-первых, произошло полное восстановление гостиничного сектора в постпандемийный период, более того, в большинстве регионов на-

блюдается количественный рост по сравнению с допандемийным периодом. Безусловным лидером по всем рассмотренным показателям является Алматы, чьи значения в десятки раз превышает показатели развития гостиничного бизнеса в большинстве других регионов Казахстана.

Во-вторых, гостиничный бизнес имеет неравномерное размещение и динамику развития по регионам. Существуют диспропорции и в качественной структуре гостиничного сектора, в котором по-прежнему доминируют безкатегорийные гостиницы. Это свидетельствует о том, что количественный рост гостиничного бизнеса не сопровождался качественными изменениями в его структуре.

В-третьих, гостиничный бизнес, как правило, демонстрирует тесную корреляцию со сферой туризма, что сказывается на концентрации гостиничных предприятий, как правило, в туристски привлекательных, развитых регионах. Так, по количеству обслуженных посетителей лидируют три города республиканского значения, Мангистауская и Акмолинская области. В совокупности, эта пятерка заняла в 2024 году 66,5% от общереспубликанского значения данного показателя. Причем, выявлено, что рост количества обслуженных посетителей необязательно привязан к численности гостиниц в регионах, а может быть достигнут и за счет меньшего числа мест размещения, но с большим номерным фондом (отелей более высокой звездности).

Сравнительный анализ показателей доходности гостиничного бизнеса в регионах продемонстрировал, что, несмотря на большой отрыв южной столицы от других регионов, некоторые из них имели более высокие темпы роста с 2022 по 2024 год. Исходя из этого, появилась необходимость оценки положения регионов по объему оказанных услуг гостиничными предприятиями, выявления более перспективных регионов с точки зрения развития туризма и гостеприимства. Построенная матрица БКГ дала основание для группировки регионов в соответствии с их занимаемым положением.

Проведенная оценка дает более конкретное представление о состоянии гостиничного бизнеса в регионах, поскольку здесь принимаются во внимание не только абсолютные показатели доходности, но и относительные. В этом плане информация, получаемая на основе применения данной методики может быть использована при составлении региональных мастерпланов по развитию туризма и гостеприимства, принятии инвестиционных и маркетинговых решений. Автор предлагает ввести практику составление рейтинга регионов по уровню развитости инфраструктуры туризма и гостеприимства на основе полученных с применением матрицы БКГ данных.

Литература

1. Bianka L. Global Hospitality Data & Industry Statistics. -2025. URL: https://hospitalityinsights.ehl.edu. -Дата обращения: 02.02.2026.

2. Тонконог О. Казахстан стал вторым по конкурентоспособности цен в мировом рейтинге туризма. -2025. URL: https://kz.kursiv.media. -Дата обращения: 02.02.2026.

3. Уокер Дж. Р. Введение в гостеприимство: учебник; пер. с англ. Михайлова Н.Н. -4-е изд. / М.: ЮНИТИ-ДАНА. - 2017. - 735 с. ISBN 978-5-238-01392-3.

4. Джанджугазова Е.А. Маркетинг в индустрии гостеприимства: учеб. пособие/ Директ-Медиа. - 2020. -192. ISBN 978-5-4499-1541-2

5. Ваген Л.В. Гостиничный бизнес: учеб. Пособие, пер. А. Сухорукова/ Ростов н/Д.: Феникс, 2001. - 412 с. ISBN 5-222-01741-9.

6. Шогельбаева Г.К. Гостиничная индустрия Казахстана: Аналитический обзор //Norwegian Journal of Development of the International Science. -2021. - № 60. -С. 28-32. DOI 10.24412/3453-9875-2021-60-1-28-32.

7. Митрофанов С.В. Экономика гостиничного предприятия: учебное пособие для бакалавров/ Изд-во Санкт-Петербургского университета технологий управления и экономики. -2017. -230 с. ISBN 978-5-94047-023-6.

8. Рамазанов А., Куралов Ж. Қонақүй ісінің экономикалық сипаттамасы// Статистика, есеп және аудит. -2022. - № 84(1). - с.92 -99. DOI 10.51579/1563-2415.2022-1.10.

9. Статистика туризма. О деятельности мест размещения в Республике Казахстан. URL: https://stat.gov.kz/ru/publication/spreadsheets/?year=2024&name=18980&period=&industry=1496&type=/. - Дата обращения: 05.02.2026.

10. Специализированная информационная система. -2025. URL: https://eqonaq.kz. - Дата обращения: 01.03.2026.

References

1. Bianka L. Global Hospitality Data & Industry Statistics. -2025. URL: https://hospitalityinsights.ehl.edu Data obrashhenija: 02.02.2026.

2. Tonkonog O. Kazahstan stal vtorym po konkurentosposobnosti cen v mirovom rejtinge turizma. -2025. URL: https://kz.kursiv.media. -Data obrashhenija: 02.02.2026. [in Russian]

3. Uoker Dzh. R. Vvedenie v gostepriimstvo: uchebnik; per. s angl. Mihajlova N.N. -4-e izd. / M.: JuNITI-DANA. - 2017. - 735 s. ISBN 978-5-238-01392-3. [in Russian]

4. Dzhandzhugazova E.A. Marketing v industrii gostepriimstva: ucheb. posobie/ Direkt-Media. -2020. -192. ISBN 978-5-4499-1541-2. [in Russian]

5. Vagen L.V. Gostinichnyj biznes: ucheb. Posobie, per. A. Suhorukova/ Rostov n/D.: Feniks, 2001. - 412 s. ISBN 5-222-01741-9. [in Russian]

6. Shogel’ baeva G.K. Gostinichnaja industrija Kazahstana: Analiticheskij obzor //Norwegian Journal of Development of the International Science. -2021. - № 60. -S.28-32. DOI 10.24412/3453-9875-2021-60-1-28-32. [in Russian]

7. Mitrofanov S.V. Jekonomika gostinichnogo predprijatija: uchebnoe posobie dlja bakalavrov/ Izd-vo Sankt-Peterburgskogo universiteta tehnologij upravlenija i jekonomiki. -2017. -230 s. ISBN 978-5-94047-023-6. [in Russian]

8. Ramazanov A., Kuralov Zh. Қonaқүj isinің jekonomikalyқ sipattamasy// Statistika, esep zhəne audit. -2022. - № 84(1). - s.92 -99. DOI 10.51579/1563-2415.2022-1.10. [in Kazakh]

9. Statistika turizma. O dejatel’ nosti mest razmeshhenija v Respublike Kazahstan. URL: https://stat.gov.kz/ru/publication/spreadsheets/?year=2024&name=18980&period=&industry=1496&type=/. - Data obrashhenija: 05.02.2026. [in Russian]

10. Specializirovannaja informacionnaja sistema. -2025. URL: https://eqonaq.kz/news-detail-147?lang=ru/. - Data obrashhenija: 01.03.2026. [in Russian]

Сведения об авторе

Урузбаева Н.А. - д.э.н., профессор, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: nazym_amen@mail.ru.

Information about the author

Uruzbayeva N.A.- d.e.s., professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: nazym_amen@mail.ru.

МРНТИ 06.81.65 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1580**

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ И ТРАНСФОРМАЦИИ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

[1]Г.Е. Кабакова✉, [1]Н.Ж. Уразбаев, [1]Е.Ж. Ыдырыс, [1]А.Б. Темирова, [2]А.Б. Алибекова

[1]Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан,
[2]Кызылординский Открытый университет, Кызылорда, Казахстан

✉ *Корреспондент-автор: yedilovna27@gmail.com*

Статья посвящена разработке методических подходов к оценке и трансформации кадрового потенциала нефтегазодобывающих предприятий в условиях цифровой трансформации отрасли. Актуальность исследования обусловлена изменением структуры занятости и требований к профессиональным компетенциям работников, вызванных развитием автоматизации производственных процессов, внедрением технологий промышленного интернета вещей, аналитики больших данных и интеллектуальных систем управления производством.

В работе проведен анализ современных теоретических подходов к оценке человеческого капитала и кадрового потенциала организаций, а также рассмотрены практики развития персонала в нефтегазовых компаниях. Особое внимание уделено системе корпоративного обучения и развитию профессиональных и цифровых компетенций работников. На основе материалов «Атласа профессий нефтегазовой отрасли» определены основные направления трансформации профессиональной структуры отрасли.

В результате исследования предложен методический подход к оценке кадрового потенциала нефтегазодобывающих предприятий, включающий три взаимосвязанных блока анализа: структурно-квалификационный анализ персонала, оценку уровня цифровых и междисциплинарных компетенций работников, а также анализ адаптивности кадрового потенциала к технологическим изменениям.

Предложенный подход позволяет комплексно оценивать состояние кадрового потенциала предприятий нефтегазовой отрасли и формировать направления его развития в условиях цифровизации производственных процессов.

Ключевые слова: кадровый потенциал, нефтегазовая отрасль, цифровизация производства, компетенции персонала, оценка кадрового потенциала, цифровые компетенции, трансформация профессий.

МҰНАЙ-ГАЗ ӨНДІРУШІ КӘСІПОРЫНДАРДЫҢ КАДРЛЫҚ ӘЛЕУЕТІН БАҒАЛАУ МЕН ТРАНСФОРМАЦИЯЛАУДЫҢ ӘДІСТЕМЕЛІК ТӘСІЛДЕРІ

[1]Г.Е. Кабакова✉, [1]Н.Ж. Уразбаев, [1]Е.Ж. Ыдырыс, [1]А.Б. Темирова, [2]А.Б. Алибекова

[1]Қорқыт Ата атындағы Қызы-лорда университеті, Кызылорда, Казахстан,
[2]Қызылорда Ашық университеті, Кызылорда, Казахстан,
e-mail: yedilovna27@gmail.com

Мақала мұнай-газ өндіруші кәсіпорындардың кадрлық әлеуетін бағалау және трансформациялау бойынша әдістемелік тәсілдерді әзірлеуге арналған. Зерттеудің өзектілігі өндірістік процестерді автоматтандырудың дамуына, өнеркәсіптік интернет заттары технологияларының, үлкен деректер аналитикасының және өндірісті басқарудың интеллектуалдық жүйелерінің енгізілуіне байланысты жұмыспен қамту құрылымы мен қызметкерлердің кәсіби құзыреттеріне қойылатын талаптардың өзгеруімен айқындалады.

Зерттеу барысында адам капиталы мен ұйымдардың кадрлық әлеуетін бағалаудың заманауи теориялық тәсілдері талданды, сондай-ақ мұнай-газ компанияларындағы персоналды дамыту тәжірибелері қарастырылды. Корпоративтік оқыту жүйесіне, қызметкерлердің кәсіби және цифрлық құзыреттерін дамыту мәселелеріне ерекше назар аударылды. «Мұнай-газ саласының кәсіптер атласы» материалдары негізінде саланың кәсіби құрылымының трансформациялануының негізгі бағыттары анықталды.

Зерттеу нәтижесінде мұнай-газ өндіруші кәсіпорындардың кадрлық әлеуетін бағалаудың әдістемелік тәсілі ұсынылды. Ол өзара байланысты үш талдау блогын қамтиды: персоналдың құрылымдық-біліктілік талдауы, қызметкерлердің цифрлық және пәнаралық құзыреттерінің деңгейін бағалау, сондай-ақ кадрлық әлеуеттің технологиялық өзгерістерге бейімделу қабілетін талдау.

Ұсынылған тәсіл мұнай-газ саласы кәсіпорындарының кадрлық әлеуетінің жағдайын кешенді бағалауға және өндірістік процестерді цифрландыру жағдайында оны дамытудың негізгі бағыттарын айқындауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: кадрлық әлеует, мұнай-газ саласы, өндірісті цифрландыру, персонал құзыреттері, кадрлық әлеуетті бағалау, цифрлық құзыреттер, кәсіптердің трансформациясы.

METHODOLOGICAL APPROACHES TO ASSESSING AND TRANSFORMING THE HUMAN RESOURCE POTENTIAL OF OIL AND GAS PRODUCING ENTERPRISES

[1]G.E. Kabakova✉, [1]N.Zh. Urazbayev, [1]E.Zh. Ydyrys, [1]A.B. Temirova, [2]A.B. Alibekova

[1]Korkyt Ata Kyzylorda University", Kyzylorda, Kazakhstan,
[2]Kyzylorda Open University, Kyzylorda, Kazakhstan,
e-mail: yedilovna27@gmail.com

The article is devoted to the development of methodological approaches to assessing and transforming the human resource potential of oil and gas producing enterprises in the context of the industry' s digital transformation. The relevance of the study is determined by changes in the structure of employment and the requirements for employees' professional competencies caused by the development of automation of production processes, the introduction of industrial Internet of Things technologies, big data analytics, and intelligent production management systems.

The study analyzes modern theoretical approaches to the assessment of human capital and the human resource potential of organizations and examines personnel development practices in oil and gas companies. Particular attention is paid to corporate training systems and the development of professional and digital competencies of employees. Based on the materials of the "Atlas of Professions in the Oil and Gas Industry," the main directions of the transformation of the professional structure of the industry are identified.

As a result of the study, a methodological approach to assessing the human resource potential of oil and gas producing enterprises is proposed. The approach includes three interrelated blocks of analysis: structural and qualification analysis of personnel, assessment of the level of digital and interdisciplinary competencies of employees, and analysis of the adaptability of human resource potential to technological changes.

The proposed approach makes it possible to comprehensively assess the state of the human resource potential of oil and gas enterprises and to determine the main directions for its development in the context of the digitalization of production processes.

Keywords: human resource potential, oil and gas industry, production digitalization, personnel competencies, assessment of human resource potential, digital competencies, transformation of professions.

Введение. В современных условиях ускоренной технологической трансформации мировой экономики особое значение приобретает развитие человеческого капитала и повышение эффективности управления кадровыми ресурсами предприятий. Данная тенденция особенно ярко проявляется в высокотехнологичных и капиталоемких отраслях, к числу которых относится нефтегазодобывающая промышленность. Развитие цифровых технологий, внедрение автоматизированных систем управления производством, использование технологий анализа больших данных и промышленного интернета вещей приводят к существенным изменениям структуры занятости и требований к профессиональным компетенциям работников.

В условиях цифровой трансформации нефтегазовой отрасли возрастает значение формирования кадрового потенциала предприятий, способного обеспечивать устойчивое функционирование сложных производственных систем и адаптацию организаций к технологическим изменениям. При этом традиционные методы оценки кадрового потенциала, основанные преимущественно на анализе численности персонала и уровня его квалификации, не в полной мере отражают современные требования к структуре компетенций работников, уровню их цифровой подготовки и способности адаптироваться к изменениям технологической среды.

В связи с этим возникает необходимость разработки и совершенствования методических подходов к оценке кадрового потенциала нефтегазодобывающих предприятий, учитывающих особенности отраслевой специфики, процессы цифровизации производства и трансформации профессиональной структуры занятости.

Целью настоящего исследования является анализ современных подходов к оценке кадрового потенциала и разработка методического подхода к его оценке в деятельности нефтегазодобывающих предприятий с учетом процессов технологической модернизации отрасли.

Материалы и методы. Материалы исследования сформированы на основе научных публикаций отечественных и зарубежных авторов, посвященных вопросам развития человеческого капитала, оценки кадрового потенциала организаций и трансформации профессиональных компетенций в условиях цифровой экономики. В работе использованы результаты исследований в области управления человеческими ресурсами, а также аналитические материалы, характеризующие развитие нефтегазовой отрасли и изменения профессиональной структуры занятости.

В качестве информационной базы исследования использованы данные аналитических и отраслевых материалов, в том числе материалы «Атласа профессий нефтегазовой отрасли», а также открытые источники, отражающие современные тенденции цифровизации производственных процессов, внедрения технологий промышленного интернета вещей, систем обработки больших данных и интеллектуальных систем управления производством. Дополнительно были проанализированы практики развития персонала и системы корпоративного обучения в крупных нефтегазовых компаниях.

Методологическую основу исследования составили общенаучные и специальные методы анализа. В процессе исследования применялись методы системного и структурно-функционального анализа, сравнительного анализа, обобщения и классификации научных подходов к оценке кадрового потенциала организаций. Системный подход позволил рассмотреть кадровый потенциал как комплексную характеристику трудовых ресурсов предприятия, включающую профессионально-квалификационные характеристики работников, уровень развития компетенций и способность персонала адаптироваться к технологическим изменениям.

Для выявления направлений трансформации кадрового потенциала нефтегазодобывающих предприятий использован метод контент-анализа аналитических материалов и отраслевых прогнозов развития профессий. Сравнительный анализ практик управления персоналом нефтегазовых компаний позволил определить ключевые направления развития компетенций работников и выявить тенденции изменения требований к профессиональной подготовке

кадров.

На основе результатов проведенного анализа разработан методический подход к оценке кадрового потенциала нефтегазодобывающих предприятий, включающий три взаимосвязанных блока: структурно-квалификационный анализ персонала, оценку уровня цифровых и междисциплинарных компетенций работников, а также анализ адаптивности кадрового потенциала к технологическим изменениям в отрасли.

Обсуждение и результаты. В современной экономической науке кадровый потенциал рассматривается как один из ключевых факторов устойчивого развития предприятий, особенно в высокотехнологичных и капиталоемких отраслях. Формирование научных представлений о роли человеческих ресурсов в экономике связано прежде всего с развитием теории человеческого капитала, получившей широкое распространение во второй половине XX века. В работах Г. Беккера и Т. Шульца [1,2] человеческий капитал трактуется как совокупность знаний, навыков, профессиональной подготовки и опыта работников, которые формируются в результате инвестиций в образование, обучение и развитие персонала. Согласно данному подходу, повышение уровня человеческого капитала напрямую влияет на производительность труда и конкурентоспособность предприятий.

Дальнейшее развитие концепция человеческого капитала получила в рамках ресурсной теории фирмы. В соответствии с данным подходом человеческие ресурсы рассматриваются как один из ключевых стратегических ресурсов организации. Согласно исследованиям, Дж. Барни [3,4], устойчивые конкурентные преимущества предприятий формируются за счет уникальных ресурсов и компетенций, обладающих характеристиками ценности, редкости и трудной воспроизводимости. К таким ресурсам относятся профессиональные знания работников, накопленный опыт, организационные навыки и способность персонала к освоению новых технологий.

В контексте управления предприятиями данные теоретические положения нашли отражение в категории кадрового потенциала, которая используется для характеристики совокупных возможностей персонала организации. В научной литературе кадровый потенциал рассматривается не только как совокупность имеющихся трудовых ресурсов предприятия, но и как система их профессиональных, квалификационных и адаптационных возможностей, определяющих способность организации эффективно функционировать и развиваться.

Вместе с тем в условиях трансформации мировой экономики, ускоренной цифровизации и развития технологий Industry 4.0 существенно изменяются требования к структуре и качеству кадрового потенциала предприятий. Сегодня данные процессы рассматриваются в рамках концепции цифровой трансформации и HRM 4.0. Так, по определению G. Vial [5], цифровая трансформация представляет собой «процесс, направленный на улучшение функционирования организаций за счет значительных изменений их характеристик под воздействием информационных, вычислительных и коммуникационных технологий».

Развитие цифровых технологий оказывает существенное влияние на систему управления человеческими ресурсами. В частности, S. Strohmeier определяет цифровое управление персоналом как процесс применения цифровых технологий для поддержки и координации деятельности участников HR-процессов [6]. В современных исследованиях подчеркивается, что цифровизация трансформирует характер труда и требует пересмотра традиционных подходов к управлению персоналом [7]. Использование технологий искусственного интеллекта, онлайн-платформ и интернета вещей приводит к существенным изменениям в организации труда и управлении персоналом в современных компаниях [8].

В результате возрастает значение новых профессиональных компетенций работников, связанных с цифровыми технологиями, управлением сложными производственными системами и способностью персонала адаптироваться к быстро меняющейся технологической среде.

Вместе с тем содержание и структура кадрового потенциала во многом зависят от отраслевой специфики деятельности предприятий. Особенно это характерно для нефтегазодобывающей промышленности, которая относится к числу технологически сложных и капиталоемких отраслей экономики. Производственные процессы в данной сфере связаны с использованием сложного оборудования, высоким уровнем технологических рисков и значительной ролью инженерно-технических специалистов.

В связи с этим предприятия нефтегазовой отрасли предъявляют повышенные требования к уровню квалификации работников, их профессиональной подготовке и способности работать в условиях сложных производственных систем. В условиях цифровизации нефтегазовой промышленности возрастает значение компетенций, связанных с использованием цифровых технологий, анализом данных и управлением автоматизированными производственными процессами.

В научной литературе разработан ряд методических подходов, направленных на оценку кадрового потенциала организаций. Методологические основы анализа человеческих ресурсов были заложены в работах T. Schultz и G. Becker, которые рассматривали человеческий капитал как результат инвестиций в образование, профессиональную подготовку и развитие работников.

В дальнейшем исследования были направлены на разработку прикладных инструментов оценки кадрового потенциала предприятий. Одним из наиболее известных исследователей в области количественной оценки человеческого капитала является J. Fitz-enz. В его работах предложен аналитический подход к управлению персоналом, основанный на использовании системы HR-метрик и методов анализа данных. Согласно данному подходу, эффективность использования человеческих ресурсов может оцениваться на основе показателей стоимости человеческого капитала, производительности работников, уровня текучести персонала и других количественных индикаторов. В более поздних исследованиях автор развивает идею применения предиктивной аналитики, позволяющей выявлять закономерности в данных о персонале и прогнозировать кадровые процессы в организации [9].

Компетентностный подход к оценке кадрового потенциала получил развитие в работах R. Boyatzis. В книге The Competent Manager: A Model for Effective Performance автор предложил модель анализа профессиональных и управленческих компетенций работников, позволяющую выявлять характеристики персонала, обеспечивающие высокую эффективность деятельности организации. В последующих исследованиях данная концепция получила дальнейшее развитие, где компетенции рассматриваются как совокупность поведенческих характеристик, знаний и способностей работников, определяющих их способность эффективно выполнять профессиональные задачи и достигать высоких результатов деятельности [10].

Данный подход получил широкое распространение в практике управления персоналом и используется в различных процедурах оценки кадрового потенциала организаций, включая системы аттестации персонала, центры оценки (assessment center), а также методы многосторонней оценки, в частности 360-градусную обратную связь.

Важное направление развития методик оценки кадрового потенциала связано с формированием количественных инструментов анализа эффективности управления человеческими ресурсами. Значительный вклад в развитие данного подхода внесли B. Becker и M. Huselid, рассматривающие управление персоналом как стратегический фактор повышения конкурентоспособности организаций. В статье Strategic Human Resources Management: Where Do We Go from Here? [11] авторы обосновывают необходимость использования системы показателей, позволяющих оценивать влияние практик управления персоналом на результаты деятельности компаний.

В рамках данного подхода предлагается использовать систему HR-метрик, отражающих состояние и динамику человеческих ресурсов организации, включая показатели производительности труда, текучести кадров, уровня квали-

фикации персонала и эффективности обучения работников. Применение подобных показателей позволяет количественно оценивать вклад человеческого капитала в формирование организационной эффективности и стратегическое развитие компаний.

Более современные исследования связывают оценку кадрового потенциала с развитием HR-аналитики и использованием методов анализа данных в управлении человеческими ресурсами. В работах J. Boudreau и P. Ramstad предложена концепция Talentship [12], согласно которой управление человеческими ресурсами должно опираться на аналитические методы оценки ценности работников для организации. В рамках данного подхода предлагается использовать системный анализ данных о персонале для выявления ключевых групп работников, оказывающих наибольшее влияние на результаты деятельности компании, а также для оценки эффективности инвестиций в развитие человеческого капитала.

Данный подход предполагает использование аналитических моделей и показателей, позволяющих оценивать вклад различных категорий работников в создание организационной ценности, а также выявлять взаимосвязь между кадровыми решениями и результатами деятельности предприятия. Использование инструментов HR-аналитики позволяет перейти от интуитивных решений в области управления персоналом к принятию управленческих решений на основе данных.

Таким образом, проведенный анализ научной литературы показывает, что в современных исследованиях разработан широкий спектр подходов к оценке человеческого капитала и кадрового потенциала организаций. Вместе с тем большинство существующих методик носит универсальный характер и ориентировано на оценку человеческих ресурсов без учета отраслевой специфики деятельности предприятий. В условиях высокой технологичности и сложной организационной структуры нефтегазодобывающих компаний возникает необходимость разработки и адаптации методических подходов к оценке и трансформации кадрового потенциала с учетом особенностей данной отрасли.

Развитие кадрового потенциала является одним из ключевых направлений корпоративной политики нефтегазовых компаний. Анализ практики АО НК «КазМунайГаз» показывает, что компания реализует комплексную систему обучения и повышения квалификации работников, ориентированную на формирование профессиональных, управленческих и цифровых компетенций. Среднегодовое количество академических часов обучения на одного работника составляет около 18 часов, что отражает системный характер образовательных программ и их интеграцию в процессы управления персоналом [13].

Структура обучения дифференцирована в зависимости от категорий работников. Наибольший объем обучения приходится на специалистов, для которых средний показатель достигает около 24 часов в год. Для руководителей данный показатель составляет около 20 часов, тогда как для рабочих - около 16 часов. Подобная структура образовательных программ отражает специфику технологически сложных производственных процессов нефтегазовой отрасли и обусловлена необходимостью постоянного развития инженерно-технических компетенций, а также повышения эффективности управления производственными системами.

Содержание образовательных программ охватывает широкий спектр направлений, включая развитие управленческих навыков, совершенствование профессиональных компетенций, повышение уровня финансовой и правовой грамотности, а также обучение в области управления рисками, корпоративной безопасности и экологического менеджмента. Отдельное внимание уделяется развитию цифровых компетенций работников, что связано с цифровой трансформацией нефтегазовой отрасли и внедрением современных технологических решений в процессы добычи и переработки углеводородов.

Сравнение практики развития кадрового потенциала с международными нефтегазовыми компаниями демонстрирует сходство стратегических подходов к формированию системы обу-

чения персонала. Так, в компании Shell развитие работников рассматривается как один из ключевых элементов обеспечения устойчивого развития бизнеса. Компания реализует программы выявления дефицита компетенций и организует обучение сотрудников для их устранения, а также активно использует программы лидерского развития и коучинга для подготовки управленческого персонала [14].

Согласно данным годового отчета Shell, в 2024 году для сотрудников и партнеров компании было проведено около 264 тыс. дней формального обучения, что свидетельствует о значительном масштабе образовательных программ и системном подходе к развитию человеческого капитала. Обучение осуществляется как в очном формате, так и с использованием цифровых образовательных платформ, что обеспечивает доступ работников к образовательным ресурсам независимо от их географического расположения.

Таблица 1 - Сравнительная характеристика систем развития кадрового потенциала нефтегазовых компаний

Показатель	КМГ	Shell
Средние часы обучения	~18 часов	20 часов (оценочно, на основе данных об обучении)
Формат обучения	корпоративные программы	глобальные программы развития
Цифровое обучение	дистанционная платформа	онлайн и офлайн обучение
Развитие лидерства	HR School	leadership development
Примечание – составлено на основании источников [13,14]		

Таким образом, анализ практики развития персонала нефтегазовых компаний показывает, что формирование кадрового потенциала основывается на комплексной системе корпоративного обучения, включающей развитие профессиональных, управленческих и цифровых компетенций работников. При этом как национальные, так и международные нефтегазовые компании рассматривают развитие человеческого капитала как важнейший фактор повышения эффективности производственной деятельности и обеспечения устойчивого развития отрасли.

Дополнительное представление о направлениях трансформации кадрового потенциала нефтегазовой отрасли формируется на основе материалов «Атласа профессий нефтегазовой отрасли», в котором анализируются перспективные изменения структуры занятости и требований к профессиональным компетенциям работников в условиях технологической модернизации отрасли. Согласно данному исследованию, ключевыми факторами трансформации выступают цифровизация производственных процессов, автоматизация добычи углеводородов, внедрение систем интеллектуального управления месторождениями, а также развитие технологий промышленного интернета вещей и аналитики больших данных, что определяет основные направления трансформации кадрового потенциала отрасли (рисунок 1).

В «Атласе профессий нефтегазовой отрасли» отмечается, что в перспективе ближайших 10–15 лет произойдет значительная трансформация профессиональной структуры отрасли. В частности, прогнозируется появление 37 новых профессий, трансформация 7 существующих профессий и постепенное исчезновение 13 традиционных профессий, связанных с выполнением

рутинных производственных операций. Основными драйверами данных изменений выступают цифровизация производственных процессов, внедрение технологий дистанционного управления объектами добычи, развитие систем промышленного интернета вещей и использование аналитики больших данных.

Одним из ключевых направлений технологической трансформации является развитие концепции «безлюдных месторождений», предполагающей высокий уровень автоматизации процессов добычи и мониторинга состояния оборудования. В рамках данной модели управление производственными процессами осуществляется с использованием цифровых двойников месторождений, автоматизированных систем управления и интеллектуальных систем анализа данных. Это приводит к снижению потребности в традиционных производственных профессиях, связанных с непосредственным обслуживанием оборудования на месторождениях, и одновременно увеличивает спрос на специалистов в области цифровых технологий, анализа данных и автоматизации производственных процессов.



Рис.1 - Основные направления трансформации кадрового потенциала нефтегазовой отрасли
Примечание - составлено авторами по материалам [15]

В условиях формирования новой технологической модели нефтегазовой отрасли возрастает значение междисциплинарных компетенций работников. Помимо традиционных инженерных знаний, востребованными становятся навыки работы с цифровыми платформами управления производственными процессами, анализа технологических данных, программирования и эксплуатации автоматизированных систем. Таким образом, развитие кадрового потенциала нефтегазовых компаний все в большей степени связано с подготовкой специалистов, способных работать на стыке нефтегазовых технологий, информационных систем и аналитики данных.

Следовательно, трансформация структуры профессий и требований к компетенциям работников свидетельствует о переходе нефтегазовой отрасли к новой модели формирования кадрового потенциала, основанной на цифровизации производственных процессов, повышении уровня автоматизации и развитии новых профессиональных компетенций.

В этих условиях традиционные подходы к оценке кадрового потенциала, основанные преимущественно на количественных характеристиках персонала и уровне его квалификации, оказываются недостаточными. Развитие цифровых технологий, изменение профессиональной

структуры занятости и рост значения аналитических и междисциплинарных компетенций требуют пересмотра методических подходов к оценке кадрового потенциала нефтегазодобывающих предприятий.

Практическая значимость предложенного подхода заключается в возможности его использования при разработке кадровой политики, планировании корпоративного обучения, выявлении дефицита компетенций и формировании программ развития персонала в условиях цифровизации нефтегазовой отрасли.

С учетом выявленных особенностей трансформации отрасли предлагается методический подход к оценке кадрового потенциала нефтегазодобывающих предприятий, включающий три взаимосвязанных блока анализа (рисунок 2):

- структурно-квалификационный анализ персонала;

- оценку уровня цифровых и междисциплинарных компетенций работников;

- анализ адаптивности кадрового потенциала к технологическим изменениям.

В рамках предложенного методического подхода оценка кадрового потенциала нефтегазодобывающих предприятий может осуществляться на основе системы количественных и качественных показателей, характеризующих структуру персонала, уровень развития компетенций работников и способность кадрового потенциала адаптироваться к технологическим изменениям отрасли (таблица 2).

Таблица 2 - Система показателей оценки кадрового потенциала нефтегазодобывающих предприятий

Блок оценки	Показатели	Метод оценки
Структурно-квалификационный анализ персонала	уровень образования работников; профессиональная структура персонала; доля инженерно-технических специалистов; средний стаж работы; возрастная структура кадров	расчет удельного веса, сравнительный анализ, динамический анализ
Оценка цифровых и междисциплинарных компетенций	участие работников в корпоративном и цифровом обучении; уровень владения цифровыми технологиями; навыки работы с АСУ, аналитическими платформами, IoT и большими данными; наличие междисциплинарной подготовки	анкетирование, аттестация, балльная оценка, анализ данных корпоративного обучения
Анализ адаптивности кадрового потенциала	интенсивность обучения персонала; участие в программах повышения квалификации; освоение новых профессиональных компетенций; готовность к изменению трудовых функций; динамика обновления кадровой структуры	HR-аналитика, экспертная оценка, мониторинг обучения, анализ кадровой динамики
Примечание - составлено авторами		

Первый блок оценки связан со структурно-квалификационным анализом персонала и позволяет определить соответствие кадровой структуры требованиям технологически сложного производства. Второй блок направлен на оценку цифровых и междисциплинарных компетенций работников, включая навыки работы с автоматизированными системами управления, аналитическими платформами и инструментами обработки данных. Третий блок отражает адаптивность кадрового потенциала к технологическим изменениям и характеризует способность

персонала осваивать новые технологии, проходить переобучение и изменять профессиональные функции в соответствии с потребностями производства. Использование данной системы показателей позволяет не только зафиксировать текущее состояние кадрового потенциала, но и выявить зоны кадровых рисков, дефицита компетенций и направления дальнейшего корпоративного обучения.



Рис.2 - Методический подход к оценке кадрового потенциала нефтегазодобывающих предприятий
Примечание - составлено авторами

Предложенный подход позволяет комплексно оценивать состояние кадрового потенциала предприятий нефтегазовой отрасли и формировать направления его трансформации в условиях цифровизации производственных процессов и повышения уровня автоматизации. Использование данной методики может служить инструментом для разработки программ развития персонала, планирования корпоративного обучения и формирования кадровой политики нефтегазодобывающих предприятий.

Выводы. Проведенное исследование показало, что цифровая трансформация нефтегазовой отрасли сопровождается изменением структуры кадрового потенциала предприятий. Автоматизация добычи, внедрение интеллектуальных систем управления производственными процессами, технологий промышленного интернета вещей и аналитики больших данных приводят к снижению роли традиционных производственных функций и росту потребности в специалистах, обладающих цифровыми, аналитическими и междисциплинарными компетенциями.

Анализ практики нефтегазовых компаний показал, что развитие кадрового потенциала все в большей степени связано с формированием систем непрерывного корпоративного обучения, ориентированных не только на повышение профессиональной квалификации, но и на развитие цифровой подготовки персонала, навыков работы с автоматизированными производственными системами и способности работников адаптироваться к технологическим изменениям.

Установлено, что традиционные подходы к оценке кадрового потенциала, основанные преимущественно на количественных характери-

стиках персонала и уровне его квалификации, недостаточно отражают современные требования к структуре компетенций работников. В условиях цифровизации возрастает значение оценки цифровой готовности персонала, уровня междисциплинарной подготовки и адаптивности кадрового потенциала к технологическим изменениям.

Практическая значимость предложенного методического подхода заключается в возможности его использования при разработке кадровой политики, планировании корпоративного обучения, выявлении дефицита компетенций и формировании программ развития персонала в условиях цифровизации нефтегазовой отрасли. Использование комплексной системы оценки позволяет учитывать не только количественные характеристики персонала, но и уровень цифровой подготовки работников, развитие междисциплинарных компетенций и способность кадрового потенциала адаптироваться к технологическим изменениям отрасли.

Литература

1. Schultz T.W. Investment in Human Capital //The American Economic Review. -1961. -Vol.51 (1). -P.1-17.

2. Becker G.S. Investment in Human Capital: A Theoretical Analysis // Journal of Political Economy. -1962. -Vol.70(5, part 2). -P.9-49. DOI 10.1086/258724.

3. Barney J. Firm Resources and Sustained Competitive Advantage // Journal of Management. -1991. -Vol.17(1). -P.99-120. DOI: 10.1177/014920639101700108

4. Barney J. Gaining and Sustaining Competitive Advantage.4th ed. //Pearson Education. -2013. -512 p. ISBN :10- 1292021454, ISBN-13: 978-1292021454.

5. Vial G. Understanding digital transformation: A review and a research agenda // Journal of Strategic Information Systems. -2019. -Vol.28(2). -P.118-144. DOI 10.1016/j.jsis.2019.01.003.

6. Strohmeier S. Digital human resource management: A conceptual clarification // German Journal of Human Resource Management. -2020. -Vol.34(3). -P.345-365. DOI 10.1177/2397002220921131.

7. Minbaeva D. Disrupted HR? Human resource management review // Human Resource Management Review. -2021. -Vol.31(4):100820. DOI 10.1016/j.hrmr.2020.100820.

8. Bondarouk T., Meijerink J. Research Handbook on Human Resource Management and Disruptive Technologies/Cheltenham: Edward Elgar Publishing. -2024. DOI 10.4337/9781802209242. ISBN 978 1 80220 923 5 (cased) ISBN 978 1 80220 924 2 (eBook)

9. Fitz-Enz J., John Mattox I.I., Predictive analytics for human resources // Human Resource Development International. -2017. -Vol. 20(2). -P.180-183. DOI 10.1080/13678868.2016.1258914.

10. Boyatzis R.E. Competencies in the 21st century // Journal of Management Development. -2008. -Vol.27(1). P.5-12. DOI 10.1108/02621710810840730.

11. Becker B.E., Huselid M.A. Strategic Human Resources Management: Where Do We Go from Here? // Journal of Management. -2006. -Vol.32(6). P.898-925. DOI 10.1177/0149206306293668.

12. Boudreau J., Ramstad P. Talentship, talent segmentation, and sustainability: A new HR decision science paradigm // Human Resource Management. -2005. -Vol.44(2). -P.129–136. DOI 10.1002/hrm.20054.

13. АО НК «КазМунайГаз». Отчет об устойчивом развитии за 2023 год. Астана: КазМунайГаз. -2024. URL: https://www.kmg.kz. -Дата обращения: 03.02.2026.

14. Shell plc. Annual Report and Accounts 2024/ London: Shell plc. - 2025. URL: https://www.shell.com. -Дата обращения: 03.02.2026.

15. Атлас новых профессий нефтегазовой отрасли. URL: https://atlasbt.enbek.kz. -Дата обращения: 03.02.2026.

References

1. Schultz T.W. Investment in Human Capital //The American Economic Review. -1961. -Vol.51 (1). -P.1-17.

2. Becker G.S. Investment in Human Capital: A Theoretical Analysis // Journal of Political Economy. -1962. -Vol.70(5, part 2). -P.9-49. DOI 10.1086/258724.

3. Barney J. Firm Resources and Sustained Competitive Advantage // Journal of Management. -1991. -Vol.17(1). -P.99-120. DOI: 10.1177/014920639101700108

4. Barney J. Gaining and Sustaining Competitive Advantage.4th ed. //Pearson Education. -2013. -512 p. ISBN :10- 1292021454, ISBN-13: 978-1292021454.

5. Vial G. Understanding digital transformation: A review and a research agenda // Journal of Strategic Information Systems. -2019. -Vol.28(2). -P.118-144. DOI 10.1016/j.jsis.2019.01.003.

6. Strohmeier S. Digital human resource management: A conceptual clarification // German Journal of Human Resource Management. -2020. -Vol.34(3). -P.345-365. DOI 10.1177/2397002220921131.

7. Minbaeva D. Disrupted HR? Human resource management review // Human Resource Management Review. -2021. -Vol.31(4):100820. DOI 10.1016/j.hrmr.2020.100820.

8. Bondarouk T., Meijerink J. Research Handbook on Human Resource Management and Disruptive Technologies/Cheltenham: Edward Elgar Publishing. -2024. DOI 10.4337/9781802209242. ISBN 978 1 80220 923 5 (cased) ISBN 978 1 80220 924 2 (eBook)

9. Fitz-Enz J., John Mattox I.I., Predictive analytics for human resources // Human Resource Development International. -2017. -Vol. 20(2). -P.180-183. DOI 10.1080/13678868.2016.1258914.

10. Boyatzis R.E. Competencies in the 21st century // Journal of Management Development. -2008. -Vol.27(1). P.5-12. DOI 10.1108/02621710810840730.

11. Becker B.E., Huselid M.A. Strategic Human Resources Management: Where Do We Go from Here? // Journal of Management. -2006. -Vol.32(6). P.898-925. DOI 10.1177/0149206306293668.

12. Boudreau J., Ramstad P. Talentship, talent segmentation, and sustainability: A new HR decision science paradigm // Human Resource Management. -2005. -Vol.44(2). -P.129–136. DOI 10.1002/hrm.20054.

13. AO NK «KazMunajGaz». Otchet ob ustojchivom razvitii za 2023 god. Astana: KazMunajGaz. -2024. URL: https://www.kmg.kz. -Data obrashhenija: 03.02.2026. [in Russian]

14. Shell plc. Annual Report and Accounts 2024/ London: Shell plc. - 2025. URL: https://www.shell.com. - Data obrashhenija: 03.02.2026.

15. Atlas novyh professij neftegazovoj otrasli. URL: https://atlasbt.enbek.kz/industry/1. -Data obrashhenija: 03.02.2026. [in Russian]

Сведения об авторах

Кабакова Г.Е. - магистр экономики, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан, e-mail: yedilovna27@gmail.com;

Уразбаев Н.З. - кандидат экономических наук, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан, e-mail: n_urazbayev@korkyt.kz;

Идырыс Э.З. - кандидат экономических наук, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан, e-mail: akmaraltemir6333@gmail.com;

Темирова А.Б. - кандидат экономических наук, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан, e-mail: Eldana@korkyt.kz;

Алибекова А.Б. - кандидат экономических наук, Кызылординский Открытый университет, Кызылорда, Казахстан, e-mail: Aica81@mail.ru.

Information about the authors

Kabakova G. - Master of Economics,Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: yedilovna27@gmail.com;

Urazbayev N. - candidate of Economic Sciences, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: n_urazbayev@korkyt.kz;

Ydyrys Y.-candidate of Economic Sciences,Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: akmaraltemir6333@gmail.com;

Temirova A.- candidate of Economic Sciences,Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan, e-mailEldana@korkyt.kz;

Alibekova A.- candidate of economic sciences, Kyzylorda Open University, Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: Aica81@mail.ru.

МРНТИ: 06.73.35 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1585**

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ И ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ НА ИНВЕСТИЦИИ В ОСНОВНОЙ КАПИТАЛ ГОРОДА АЛМАТЫ

[1]М.К. Камысбаев, [1]М.М. Абуталипов ✉, [1]Д.О. Сатыбалдиева, [1]А.А. Кудайбергенова, [2]Н.Ж. Айнакеева

[1]Сәтбаев университеті, Алматы, Казахстан,
[2]Университет Нархоз, Алматы, Казахстан

✉ *Корреспондент-автор: m.abutalipov@satbayev.university*

Целью исследования является комплексная оценка инвестиционного климата и инвестиционной привлекательности города Алматы, а также выявление ключевых социально-экономических факторов, определяющих формирование инвестиционного потенциала региона на основе современных эконометрических методов анализа.

Для проведения исследования были применены три эконометрических подхода: модель авторегрессии с распределёнными лагами (ARDL) для оценки краткосрочных и долгосрочных взаимосвязей, модель коррекции ошибок (ECM) для анализа механизма восстановления равновесия в краткосрочном периоде, а также тест причинно-следственной связи Грейнджера для выявления направленности влияния между переменными.

В рамках исследования были проверены гипотезы о влиянии макроэкономических и институциональных факторов на формирование инвестиционного климата и инвестиционного потенциала города Алматы. Эмпирическая база исследования включает официальные статистические данные Бюро национальной статистики Республики Казахстан за период 2010-2024 гг. По результатам исследования установлено наличие долгосрочной равновесной зависимости между инвестициями в основной капитал и совокупностью институциональных, макроэкономических и социально-трудовых факторов.

Валовой региональный продукт выступает ключевым макроэкономическим детерминантом инвестиционной активности в регионе. Выявлено, что институциональные реформы, направленные на снижение административных барьеров, совершенствование налоговой политики и повышение прозрачности регулирования, имеют стратегическое значение для обеспечения устойчивого инвестиционного развития. Направления будущих исследований связаны с расширением перечня институциональных индикаторов за счёт включения показателей качества государственного управления, регуляторной эффективности, прозрачности институтов и защиты прав собственности, что позволит глубже оценить влияние институциональной среды на инвестиционную активность.

Так же дальнейшие исследования могут быть ориентированы на межрегиональные сравнительные анализы с использованием панельных данных, что позволит выявить различия в структуре факторов инвестиционного климата и оценить влияние пространственных особенностей развития регионов. Полученные результаты исследования соотносятся с ЦУР 8 (достойная работа и экономический рост) и ЦУР 9 (индустриализация, инновации и инфраструктура), отражая влияние инвестиционной активности и макроэкономических факторов на устойчивое развитие региона.

Ключевые слова: инвестиции, основной капитал, институциональные факторы, макроэкономические факторы, эконометрическое моделирование, ЦУР 8, ЦУР 9.

АЛМАТЫ ҚАЛАСЫ НЕГІЗГІ КАПИТАЛДЫҢ ИНВЕСТИЦИЯЛАРЫНА МАКРОЭКОНОМИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ИНСТИТУЦИОНАЛДЫҚ ФАКТОРЛАРДЫҢ ӘСЕРІН БАҒАЛАУ

[1]М.К. Қамысбаев, [1]М.М. Абуталипов ✉, [1]Д.О. Сатыбалдиева, [1]А.А. Кудайбергенова, [2]Н.Ж. Айнакеева

[1]*Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан,*
[2]*Нархоз университі, Алматы, Қазақстан,*
e-mail: m.abutalipov@satbayev.university

Бұл зерттеудің мақсаты - Алматының инвестициялық ахуалы мен инвестициялық тартымдылығын кешенді бағалау, сондай-ақ қазіргі заманғы эконометрикалық талдау әдістерін қолдана отырып, аймақтың инвестициялық әлеуетінің қалыптасуын анықтайтын негізгі әлеуметтік-экономикалық факторларды анықтау.

Зерттеуде үш эконометрикалық тәсіл қолданылды: қысқа және ұзақ мерзімді қатынастарды бағалау үшін авторегрессивті таратылған кідіріс (ARDL) моделі, қысқа мерзімді тепе-теңдікті қалпына келтіру механизмін талдау үшін қателерді түзету моделі (ҚТМ) және айнымалылар арасындағы әсер ету бағытын анықтау үшін Грейнджер себеп-салдарлық сынағы. Зерттеуде Алматының инвестициялық климаты мен инвестициялық әлеуетіне макроэкономикалық және институционалдық факторлардың әсері туралы болжамдар тексерілді. Зерттеудің эмпирикалық базасына Қазақстан Республикасы Ұлттық статистика бюросының 2010-2024 жылдар аралығындағы ресми статистикалық деректері кіреді.

Зерттеу негізгі капиталға инвестициялар мен институционалдық, макроэкономикалық және әлеуметтік-еңбек факторларының үйлесімі арасындағы ұзақ мерзімді тепе-теңдік байланысын анықтады. Жалпы аймақтық өнім аймақтағы инвестициялық белсенділіктің негізгі макроэкономикалық детерминанты болып табылады. Әкімшілік кедергілерді азайтуға, салық саясатын жетілдіруге және реттеушілік ашықтықты арттыруға бағытталған институционалдық реформалар тұрақты инвестициялық дамуды қамтамасыз ету үшін стратегиялық тұрғыдан маңызды.

Болашақ зерттеу бағыттарына басқару сапасы, реттеушілік тиімділік, институционалдық ашықтық және меншік құқығын қорғау көрсеткіштерін қамтитын институционалдық көрсеткіштер ауқымын кеңейту кіреді, бұл институционалдық ортаның инвестициялық белсенділікке әсерін жан-жақты бағалауға мүмкіндік береді. Әрі қарай зерттеулер сонымен қатар инвестициялық климат факторларының құрылымындағы айырмашылықтарды анықтайтын және аймақтық дамудың кеңістіктік сипаттамаларының әсерін бағалайтын панельдік деректерді пайдалана отырып, аймақаралық салыстырмалы талдауларға бағытталуы мүмкін. Зерттеу нәтижелері ТДМ 8 (лайықты жұмыс және экономикалық өсу) және ТДМ 9 (индустрияландыру, инновациялар және инфрақұрылым) мақсаттарымен үйлеседі, бұл инвестициялық белсенділік пен макроэкономикалық факторлардың өңірдің тұрақты дамуына әсерін көрсетеді.

Түйін сөздер: инвестиция, негізгі капитал, институционалдық факторлар, макроэкономикалық факторлар, эконометрикалық модель, ТДМ 8, ТДМ 9.

ASSESSING THE IMPACT OF MACROECONOMIC AND INSTITUTIONAL FACTORS ON FIXED CAPITAL INVESTMENT IN THE CITY OF ALMATY

[1]M.K. Kamysbayev, [1]M.M. Abutalipov✉, [1]D.O. Satybaldiyeva, [1]A.A. Kudaibergenova, [2]N.Zh. Ainakeeva

[1]*Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,*
[2]*Narxoz University, Almaty, Kazakhstan,*
e-mail: m.abutalipov@satbayev.university

This study aims to provide a comprehensive assessment of the investment climate and investment attractiveness of the city of Almaty, as well as to identify key socio-economic factors shaping the region's investment potential using advanced econometric techniques.

To achieve these objectives, three methodological approaches were employed. The Autoregressive Distributed Lag (ARDL) model was used to examine both short- and long-term relationships among variables. The Error Correction Model (ECM) was applied to analyze the short-run dynamics and the

speed of adjustment toward equilibrium. In addition, the Granger causality test was conducted to determine the direction of causal relationships between the variables.

The study tests hypotheses regarding the influence of macroeconomic and institutional factors on the formation of the investment climate and regional investment potential. The empirical analysis is based on official statistical data provided by the Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan for the period 2010–2024.

The findings reveal the existence of a long-run equilibrium relationship between fixed capital investment and a set of institutional, macroeconomic, and labor-related factors. Gross Regional Product (GRP) is identified as a key macroeconomic determinant driving investment activity in the region. Furthermore, institutional reforms aimed at reducing administrative barriers, improving tax policy, and enhancing regulatory transparency are shown to play a crucial role in ensuring sustainable investment development.

Future research directions include expanding the range of institutional indicators by incorporating measures of governance quality, regulatory effectiveness, institutional transparency, and property rights protection. Additionally, further studies may focus on interregional comparative analyses using panel data to explore spatial differences in investment climate determinants and assess regional development disparities. The findings of the study are aligned with SDG 8 (Decent Work and Economic Growth) and SDG 9 (Industry, Innovation and Infrastructure), reflecting the impact of investment activity and macroeconomic factors on the sustainable development of the region.

Keywords: investment, fixed capital, institutional factors, macroeconomic factors, econometric modeling, SDG 8, SDG 9.

Введение. В современных условиях инвестиции в основной капитал являются основным драйвером экономического роста. По данным Halyk Finance инвестиционная активность в Казахстане в первом полугодии 2025 года продемонстрировала ускорение до 13,0% в годовом выражении по сравнению с показателем 2024 года (7,5% г/г) [1]. Это связано с расширением государственных расходов и реализацией важных социально-экономических и инфраструктурных проектов. В основном рост показали такие отрасли экономики страны, как обрабатывающая промышленность, транспорт и строительство. Но наряду с этим, наблюдаются негативные тенденции в структуре инвестиций. За прошлый год выросла доля бюджетных средств при уменьшении участия частного сектора в инвестиционном процессе страны. При этом большая часть инвестиций направлена на строительство и ремонт, а затраты на основной капитал и технологии снижаются. Таким образом, текущие тенденции свидетельствуют о постепенном восстановлении инвестиционной активности, в значительной степени поддерживаемой государственным финансированием и развитием инфраструктуры. В условиях рынка необходимо снижать участие государства в экономике, улучшать макроэкономические условия для инвестиций и продолжать улучшать бизнес- и инвестклимат для развития частного предпринимательства и стимулирования инноваций, что позволит нарастить частные инвестиции до уровня развитых стран.

Алпысбаева С.Н., Таутенов Е.И., Жанакова Н.Н. отмечают влияние инвестиций на динамику и качество экономического роста [2]. В частности, для того, чтобы активно формировать инвестиционную политику Казахстана в меняющемся мире, необходимо четко представлять новые инвестиционные возможности страны, разработка которых требует изучения национальных особенностей накопления основного капитала и инвестиционных процессов в экономике страны. Это позволит адекватно адаптироваться к новым глобальным трендам мирового производства и обеспечить устойчивый и качественный экономический рост Казахстана.

Предыдущие исследования в области инвестиционной привлекательности Казахстана подчеркивали положительное влияние внедрения

специальных экономических зон, налоговых преференций и упрощения процедур для инвесторов. Однако, несмотря на достигнутые успехи, сохраняются вызовы, связанные с глобальными экономическими колебаниями, требуя гибких и проактивных стратегий развития и необходимостью дальнейшей диверсификации экономики, способствуя дальнейшим научным изысканиям, направленным на поиск новых механизмов повышения устойчивости инвестиционного климата. Газалиева А.К., Сембеков А.К., Аппакова Г.Н. исследовали тенденции и стратегические направления развития инвестиционного климата в Казахстане [3].

В статье Петровской М. анализируется текущее состояние инвестиционной политики Республики Казахстан с учетом ее развития и изменений за последние годы. Проведен обзор ключевых стратегий, мер и реформ, направленных на привлечение и поддержку инвестиций в экономику страны. Проанализированы факторы, влияющие на инвестиционный климат и привлекательность Казахстана для иностранных и отечественных инвесторов [4].

Чтобы определить причины ограниченного притока инвестиций в определенные сектора экономики и регионы страны возникает необходимость выявления макроэкономических и институциональных факторов, наиболее существенно влияющих на инвестиции в основной капитал.

Выбор г. Алматы в качестве объекта исследования не случайный. В нем создается более 20% ВВП Казахстана. Алматы – крупнейший мегаполис Казахстана, исторически играющий роль не только финансового и логистического центра, но и культурной, академической и технологической столицы страны. Город аккумулировал ключевые активы модернизации: высокую плотность человеческого капитала, развитую инфраструктуру, международные связи, креативную среду. Однако последние годы обозначили границы прежней модели роста, основанной преимущественно на расширении сферы услуг, девелопменте и потреблении.

Поэтому целью данного исследования является комплексная оценка инвестиционного климата и инвестиционной привлекательности города Алматы, а также выявление ключевых социально-экономических факторов, определяющих формирование инвестиционного потенциала региона на основе современных эконометрических методов анализа.

Для достижения поставленной цели исследовании поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ социально-экономического и институционального развития города Алматы, выявить тенденции и факторы, формирующие инвестиционную среду.

2. Разработать эконометрическую модель оценки влияния социально-экономических и институциональных факторов на инвестиционную активность.

3. Оценить краткосрочные и долгосрочные зависимости между инвестициями и совокупностью макроэкономических, социальных и институциональных переменных на основе ARDL-подхода.

4. Провести диагностический анализ устойчивости модели и проверить наличие коинтеграционных связей.

5. Разработать практические рекомендации по совершенствованию институциональной среды и повышению инвестиционной привлекательности города Алматы.

За годы независимости Казахстан завоевал репутацию особо привлекательной для инвестиций страны. Уникальное географическое расположение Казахстана, богатые запасы природных ресурсов, таких как нефть и газ, являются одним из ключевых факторов, обуславливающих экономический рост и приток инвестиций. Казахстан, в отличие от соседствующих стран Центральной Азии, демонстрирует хорошие результаты по улучшению инвестиционного климата страны, занимая высокие позиции в ежегодном докладе Всемирного банка Doing Business [5].

В исследовании Bekbaeva A.E., Keser E. проанализировано влияние макроэкономических факторов на общий годовой объем инвестиций в проекты государственно-частного партнерства

[6]. Известные современные методы эконометрического анализа позволяют определить ключевые социально-экономические факторы, влияющие на формирование устойчивого инвестиционного потенциала региона. В работе Энгл Р.Ф., Грэнджер К.В. Дж. исследуется взаимосвязь между моделями коинтеграции и коррекции ошибок, предложены новые методы оценивания и тестирования, рассматриваются эмпирические примеры [7]. Применение методов эконометрического анализа рассмотрены в трудах Гуджарати Д.Н.

В исследовании Suripto S., Khoirudin R., Salim, A. и др. рассматривается влияние институционального, макроэкономического и социального качества на прямые иностранные инвестиции. Был использован двухэтапный обобщенный метод моментов (GMM). В исследовании рассмотрены 94 страны мира, расположенные в Америке (26 стран), Азии (33 страны) и Европе (35 стран) за период 2002–2021 годов [8]. Результаты исследования показывают, что одновременно все независимые переменные влияют на прямые иностранные инвестиции ПИИ во всех моделях. При этом результаты указывают на то, что институциональное качество более эффективно в Европе, чем в Америке и Азии.

В работах Zhang Yu, Li Yihang, Zhang Kun исследовано влияние качества институтов принимающей страны на исходящие прямые иностранные инвестиции (ПИИ) Китая с точки зрения бинарного подхода [9]. Анализ гетерогенности показал, что качество институтов принимающей страны вносит значительный вклад в экстенсивный аспект инвестиций, когда принимающая страна не является страной с низким уровнем дохода, инвестиции не являются инвестициями «с нуля», а отрасль, в которую инвестируются средства - это недвижимость.

В исследования Gökçeli E. изучено влияние качества институтов на приток прямых иностранных инвестиций (ПИИ) в страны Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) с использованием панельной авторегрессионной модели с распределенными лагами (ARDL-PMG) за период 1996–2017 годов [10]. Результаты показали, что качество институтов является важным фактором, привлекающим прямые иностранные инвестиции (ПИИ) в долгосрочной перспективе в страны с низким качеством институтов. В краткосрочной перспективе, напротив, эта взаимосвязь не является значимой. При рассмотрении нелинейной зависимости между качеством институтов и притоком ПИИ обнаружена убывающая отдача от качества институтов для потоков ПИИ в странах с более сильными институтами. Кроме того, в исследовании применяется метод CS-ARDL в качестве проверки устойчивости, в дополнение к методу ARDL-PMG.

Развитие финансового сектора значительно способствует экономическому росту и устойчивости страны. Несмотря на растущее внимание к взаимосвязи между развитием финансового сектора и экономическим ростом, лишь немногие исследования изучают влияние развития финансового сектора на внутренние инвестиции в разных странах с разным уровнем дохода. Поэтому в исследовании He Yizhou, Yoo Tae Hwan для изучения этой взаимосвязи используются обобщенный метод моментов (GMD) и метод объединенных средних групп (POM), а также панельные данные по 152 странам за период с 1980 по 2021 год [11]. Эмпирические результаты подтверждают, что развитие финансового сектора положительно влияет на инвестиционную эффективность до достижения определенного порогового значения. Однако, хотя рост финансового сектора приносит пользу инвестициям, дальнейшее углубление финансового сектора может в итоге снизить его влияние на внутренние инвестиции. В частности, положительный эффект от роста инвестиций сохраняется только до порогового значения 0,5147, после которого он становится препятствием. Эти эмпирические данные предоставляют ценную информацию для совершенствования финансового развития с целью стимулирования роста инвестиций.

В статье Farooq U., Tabash, M.I., Hamouri, B., и др. изучена роль различных макроэкономических факторов в определении корпоративных

инвестиций. Использованы данные по компаниям шести сран региона совета сотрудничества стран Персидского залива за период 2007-2020 гг. В исследовании проведен эмпирический анализ с применением метода обобщенных моментов (GMM). Эмпирические результаты показали отрицательное влияние прямых иностранных инвестиций, в то время как экономический рост, финансовое развитие и уровень инфляции оказывают положительное влияние на решения компаний об инвестировании [12].

В исследовании Kumar J. и др. изучается влияние макроэкономических и институциональных факторов на прямые иностранные инвестиции в шести странах Южноазиатской ассоциации регионального сотрудничества (СААРК) - Пакистане, Индии, Бангладеш, Непале, Шри-Ланке и Бутане - в период с 2000 по 2020 год. Исследование рассматривает влияние различных факторов на ПИИ с использованием методов анализа панельных данных, а именно метода фиксированных эффектов (FE) и двухэтапного метода наименьших квадратов (TSLS). Зависимой переменной в этом анализе является приток ПИИ, а независимыми макроэкономическими переменными являются валовой внутренний продукт (ВВП), финансовое развитие, инфляция и инфраструктура. Также рассматриваются институциональные факторы, такие как эффективность государственного управления, уровень управления, политическая стабильность и качество регулирования. Результаты показывают, что все выбранные переменные оказывают значительное влияние на приток ПИИ, за исключением эффективности государственного управления [13].

В статье Тайбек Ж.К., Кожамкулова И.Е., Оспан Б.И. проанализировано состояние инвестиционного климата в мире и Казахстане в целом за последнее время, проведен анализ объемов и отраслей инвестиций [14]. Благоприятный инвестиционный климат является обязательным условием обеспечения устойчивого высокого развития экономики, привлечения инвестиций в регионы и отрасли, активизации предпринимательской деятельности.

В исследованиях Desbordes R. и Wei S. рассмотрены проблемы влияния финансового развития на прямые иностранные инвестиции [15]. В данной работе уделено внимание финансовому развитию региона на показатели инвестиционной привлекательности.

В статье Каранфил Д., Андрошина И. рассмотрены вопросы оценки коммерческой эффективности инвестиционных проектов [16]. Описана методика определения финансовой состоятельности, а также раскрываются методы оценки экономической эффективности проектов.

В статье Oksana I., Romashko O., Semenov A., Sazonova T. описаны наиболее распространённые методы многокритериальной оценки экономической эффективности инвестиционных проектов [17].

В статье Thomas Brenner исследованы вопросы влияния прямых иностранных инвестиций на экономический рост [18]. Проведен эмпирический анализ различных эффектов в менее и более развитых странах.

В статье Myakshin V., Petrov V.N., Pesiakova T.N. представлен метод определения приоритетных экономических секторов в регионах с использованием ключевых точек роста инвестиций [19]. Основное внимание уделяется повышению регионального развития посредством целенаправленных инвестиционных стратегий, основанных на детальном анализе возможностей роста в конкретных секторах экономики.

В работах Gainova R.A., Shaidullin R.N., Safiullin L.N., Maratkanova E.M. исследована роль инфраструктурной составляющей в поддержании конкурентоспособности региона [20]. Отмечена важная роль инфраструктурной составляющей для реализации инвестиционных проектов и повышения конкурентоспособности региона.

При изучении проблем исследования по нашей теме мы видим, что инвестиционная привлекательность во многих научных работах часто связана с инвестиционным потенциалом региона и уровнем инвестиционного риска.

В современных исследованиях рассматриваются особенности инвестиционных процессов

в строительном секторе экономики Казахстана. Отмечается, что динамика инвестиций по отраслям носит неравномерный характер и во многом зависит от условий, формируемых государственной инвестиционной политикой. Подчеркивается также необходимость перехода к инновационной модели развития с целью снижения зависимости национальной экономики от внешней конъюнктуры и нестабильности внешней среды.

В ряде работ инвестиции анализируются как ключевой фактор экономического роста регионов, при этом особое внимание уделяется их структуре и динамике. Обосновывается важность стимулирования вложений в инновационный сектор, включая развитие венчурного финансирования и обеспечение полного инновационного цикла – от генерации идеи до реализации инвестиционного проекта.

В зарубежных исследованиях оценивается влияние государственных программ поддержки инновационной деятельности на показатели эффективности компаний. Установлено, что субсидирование способствует росту инвестиций в основной капитал и технологическому развитию в долгосрочной перспективе. Вместе с тем выявлено, что подобные меры в большей степени влияют на масштаб инвестиций, чем на само решение об их осуществлении, а также могут сопровождаться более низкой эффективностью компаний по сравнению с несубсидируемыми организациями.

Также исследуется влияние экономической политики, ориентированной на стимулирование роста, на уровень занятости. Полученные результаты показывают, что экономический рост в целом способствует увеличению занятости, однако степень этого влияния существенно различается в зависимости от региона. В частности, в ряде стран наблюдается более слабая взаимосвязь между проводимой экономической политикой и динамикой занятости [21].

Материалы и методы. В рамках исследования проверяются гипотезы о влиянии макроэкономических и институциональных факторов на формирование инвестиционного климата и инвестиционного потенциала города Алматы.

I. Институциональные факторы

H_1: Институциональная среда региона оказывает статистически значимое влияние на формирование инвестиционного климата и инвестиционного потенциала.

H_2: Снижение налоговой нагрузки и повышение свободы предпринимательской деятельности способствуют росту инвестиционной активности.

H_3: Улучшение качества институционального регулирования усиливает долгосрочную устойчивость инвестиционного процесса.

II. Макроэкономические факторы

H_4: Рост валового регионального продукта оказывает положительное и статистически значимое влияние на инвестиции в основной капитал.

H_5: Динамика промышленного производства является значимым детерминантом инвестиционной активности региона.

H_6: Макроэкономическая нестабильность (в частности инфляционные процессы) оказывает краткосрочное влияние на инвестиционную динамику.

Набор данных исследования

Для анализа временных рядов в настоящем исследовании был выбран период 2010–2024 гг., что обусловлено доступностью сопоставимых статистических данных и необходимостью оценки долгосрочной динамики социально-экономических показателей. В работе применены три эконометрических подхода: модель авторегрессии с распределёнными лагами (ARDL) для оценки краткосрочных и долгосрочных взаимосвязей, модель коррекции ошибок (ECM) для анализа механизма восстановления равновесия в краткосрочном периоде, а также тест причинно-следственной связи Грейнджера для выявления направленности влияния между переменными.

В качестве зависимой переменной в исследовании выступает показатель инвестиций (INV). В качестве объясняющих переменных используются индекс свободы бизнеса (BUS), нало-

говая нагрузка (TAX), индекс потребительских цен (CPI), занятость (EML), валовой региональный продукт (GRP), объём промышленного производства (IND), рабочая сила (LAB), реальная заработная плата (RWG) и уровень безработицы (UNP).

Обсуждение и результаты. Предварительная проверка однородности и сопоставимости данных. Важным этапом эконометрического анализа является определение характера тренда и проверка стационарности временных рядов. Многие макроэкономические показатели демонстрируют трендовое поведение и могут содержать стохастическую тенденцию (единичный корень), что приводит к риску получения ложной регрессии (Granger & Newbold, 1974).

Таблица 1 - Описание переменных исследования и источники данных

Обозначение	Наименование переменной	Описание показателя	Единица измерения	Источник данных
INV	Инвестиции	Инвестиции в основной капитал	% к предыдущему году	Бюро национальной статистики
BUS	Свобода бизнеса	Уровень свободы бизнеса	Индексное значение	The Heritage Foundation (2024)
TAX	Налоговая нагрузка	Уровень налоговой нагрузки	Индексное значение	The Heritage Foundation (2024)
CPI	Индекс потребительских цен	Индекс потребительских цен (на конец периода, в % к декабрю предыдущего года)	Индексное значение	Бюро национальной статистики
EML	Занятость	Занятое население	% к предыдущему году	Бюро национальной статистики
GRP	Валовой региональный продукт	ВРП г. Алматы	% к 1991 г.	Бюро национальной статистики
IND	Промышленное производство	Объем промышленного производства	млн. тенге, % к предыдущему году	Бюро национальной статистики
LAB	Рабочая сила	Рабочая сила	% к предыдущему году	Бюро национальной статистики
RWG	Реальная заработная плата	Индекс реальной заработной платы	% к предыдущему году	Бюро национальной статистики
UNP	Безработица	Уровень безработицы	% к предыдущему году	Бюро национальной статистики
Примечание: составлено авторами				

В данном исследовании стационарность переменных проверялась с использованием теста Дики–Фуллера (ADF). Нулевая гипотеза теста заключается в наличии единичного корня (H_0: ряд нестационарен). Если рассчитанное t-статистическое значение по модулю превышает критическое значение, либо p-value <0,05, нулевая гипотеза отклоняется, и ряд считается стационарным. В противном случае ряд признаётся нестационарным.

Проверка осуществлялась последовательно: сначала на уровне, затем при необходимости - в первой и второй разностях.

Таблица 2 - Результаты теста на единичный корень (ADF)

Переменная	Уровень (t-stat.)	p-value	Первая разность (t-stat.)	p-value	Порядок интеграции
INV	-1.763	0.381	-5.497***	0.004	I(1)
BUS	-2.047	0.266	-3.953**	0.013	I(1)
CPI	-2.820	0.081	-4.684***	0.003	I(1)
EML	-3.541**	0.023	—	—	I(0)
GRP	-2.194	0.218	-3.319**	0.036	I(1)
IND	-2.932*	0.067	-4.836***	0.003	I(1)
LAB	-3.601**	0.021	—	—	I(0)
RWG	-2.472	0.147	-5.905***	0.001	I(1)
TAX	-2.510	0.134	-3.499**	0.026	I(1)
UNP	-6.347***	0.0003	—	—	I(0)
Примечание: составлено авторами					

Методологическое обоснование применения модели авторегрессионного распределённого лага (ARDL), предложенной Pesaran M.H., базируется на специфике используемых данных и целях исследования. Во-первых, предварительное тестирование стационарности с помощью ADF показало наличие переменных порядка интеграции I(0) и I(1), что исключает возможность применения методов, требующих одинакового порядка интеграции, таких как подход Clive Granger–Robert Engle или метод Йохансена. Во-вторых, ARDL-подход является статистически устойчивым при малых выборках, что соответствует анализируемому периоду (2010-2024 гг.), и позволяет избежать смещения оценок. В-третьих, данная модель обеспечивает одновременную оценку краткосрочных и долгосрочных эффектов в рамках единой спецификации через представление в форме модели коррекции ошибок (ECM), что позволяет не только выявить наличие коинтеграционной связи посредством Bounds Test, но и количественно оценить скорость возврата системы к равновесию после шоков. Таким образом, выбор ARDL-модели является теоретически и эмпирически обоснованным инструментом анализа влияния макроэкономических и институциональных факторов на инвестиции в основной капитал.

В долгосрочном периоде коэффициент при валовом региональном продукте (GRP = 0.162; p = 0.0008) является положительным и статистически значимым, что свидетельствует о том, что рост экономической активности напрямую стимулирует инвестиции: увеличение ВРП на 1 единицу сопровождается ростом инвестиций на 0.162 единицы. Коэффициент налоговой нагруз-

ки (TAX = –3.519; p = 0.0110) имеет отрицательное и значимое значение, что указывает на выраженный сдерживающий эффект фискального давления на инвестиционные процессы. Переменная свободы предпринимательства (BUS = 0.347; p = 0.3090) демонстрирует положительное, но статистически незначимое влияние, что может свидетельствовать о слабой или отложенной реакции инвестиций на институциональные изменения. Константа (C = 336.574; p = 0.0106) отражает базовый уровень инвестиций при прочих равных условиях.

Таблица 3 - Долгосрочные и краткосрочные оценки модели ARDL

Переменная	Коэффициент	Станд. ошибка	t-статистика	p-value
Долгосрочные коэффициенты (Long Run)				
GRP	0.162***	0.036	4.52	0.0008
TAX	-3.519**	1.148	-3.06	0.0110
BUS	0.347	0.321	1.08	0.3090
C	336.574**	109.85	3.07	0.0106
Краткосрочная динамика (ECM)				
D(TAX)	-1.3727	0.8306	-1.6524	0.1408
CointEq(-1)	-1.2688***	0.2433	-5.2145	0.0005
Примечание: составлено авторами				

Таблица 4 - Долгосрочные и краткосрочные оценки модели ARDL

Переменная	Коэффициент	Станд. ошибка	t-статистика	p-value
Долгосрочные коэффициенты (Long Run)				
IND	0.922***	0.072	12.75	0.0010
GRP	0.054***	0.007	7.35	0.0052
CPI	0.232	0.140	1.65	0.1973
C	-49.298*	16.706	-2.95	0.0600
Краткосрочная динамика (ECM)				
D(INV(-1))	-2.101***	0.106	-19.84	0.0003
D(GRP)	-0.047**	0.013	-3.51	0.0392
D(GRP(-1))	-0.693***	0.044	-15.85	0.0005
D(CPI)	-1.048***	0.075	-13.97	0.0008
D(CPI(-1))	0.549**	0.073	7.53	0.0048
CointEq(-1)	1.809***	0.108	1***	
Примечание: составлено авторами				

В краткосрочном периоде изменение налоговой нагрузки (D(TAX) = –1.372; p = 0.1408) не оказывает статистически значимого влияния на инвестиции, что указывает на инерционность инвестиционного поведения. Коэффициент коррекции ошибок (ECM = –1.268; p = 0.0005) является отрицательным и значимым, что подтверждает наличие механизма долгосрочного равновесия; его величина указывает на высокую скорость корректировки, при которой отклонения от равновесия устраняются более чем полностью в течение одного периода.

Таким образом, гипотеза H_1 «Институциональная среда региона оказывает статистически значимое влияние на формирование инвестиционного климата и инвестиционного потенциала» подтверждается частично, поскольку влияние институциональных факторов носит неоднородный характер и статистически значимым является не по всем показателям.

Гипотеза H_2 «Снижение налоговой нагрузки и повышение свободы предпринимательской деятельности способствуют росту инвестиционной активности» подтверждается в части влияния налоговой нагрузки, поскольку переменная TAX оказывает статистически значимое отрицательное воздействие, тогда как влияние BUS не является статистически значимым.

Гипотеза H_3 «Улучшение качества институционального регулирования усиливает долгосрочную устойчивость инвестиционного процесса» подтверждается, что следует из статистической значимости и отрицательного знака коэффициента корректировки ошибок в модели ECM, свидетельствующего о наличии механизма долгосрочного равновесия.

В долгосрочном периоде промышленное производство (IND= 0.922; p = 0.0010) оказывает сильное положительное и статистически значимое влияние на инвестиции, что подтверждает ключевую роль производственной активности в формировании инвестиционного потенциала региона. Валовой региональный продукт (GRP=0.054; p=0.0052) также оказывает положительное влияние, однако его эффект менее выражен по сравнению с промышленным производством. Переменная инфляции (CPI=0.232; p=0.1973) имеет положительный, но статистически незначимый коэффициент, что свидетельствует об отсутствии устойчивого долгосрочного влияния инфляционных процессов на инвестиции. Константа (C= -49.298; p= 0.0600) отражает базовый уровень модели и имеет слабую статистическую значимость.

В краткосрочном периоде наблюдается высокая чувствительность инвестиций к динамике макроэкономических показателей. Лаг зависимой переменной (D (INV (-1)) = -2.101; p=0.0003) указывает на выраженную инерционность инвестиционного процесса. Изменения ВРП (D(GRP)=-0.047; p=0.0392) и его лаг (D (GRP (-1)) =-0.693; p=0.0005) оказывают отрицательное краткосрочное влияние, что может быть связано с временными адаптационными эффектами. Инфляция демонстрирует разнонаправленное воздействие: текущие изменения (D(CPI)=-1.048; p=0.0008) снижают инвестиции, тогда как лаговое значение (D (CPI (-1)) =0.549; p=0.0048) оказывает положительное влияние, отражая отложенную реакцию экономических агентов. Однако коэффициент коррекции ошибок (ECM=1.809*) имеет положительное значение, что противоречит теоретическим ожиданиям и указывает на возможную спецификационную ошибку модели или необходимость её пересмотра.

Таким образом, гипотеза H_4 «Рост валового регионального продукта оказывает положительное и статистически значимое влияние на инвестиции в основной капитал» подтверждается, поскольку переменная GRP демонстрирует положительный и статистически значимый коэффициент в долгосрочном периоде ($p<0.01$).

Гипотеза H_5 «Динамика промышленного производства является значимым детерминантом инвестиционной активности региона» подтверждается, так как переменная IND оказывает статистически значимое влияние на инвестиции ($p<0.01$), что свидетельствует о роли производственной активности в формировании инвестиционного потенциала.

Гипотеза H_6 «Макроэкономическая неста-

бильность, в частности инфляционные процессы, оказывает краткосрочное влияние на инвестиционную динамику» подтверждается, поскольку коэффициенты при первой разности CPI статистически значимы и отражают чувствительность инвестиционного процесса к краткосрочным инфляционным колебаниям.

Научная новизна исследования. Научная новизна исследования заключается в разработке и эмпирической апробации комплексного подхода к оценке влияния макроэкономических и институциональных факторов на инвестиции в основной капитал на уровне города Алматы с использованием модели авторегрессионного распределённого лага (ARDL), предложенной M. H. Pesaran. В отличие от существующих исследований, акцентирующих внимание преимущественно на национальном уровне, в работе впервые для Алматы проведён интегрированный анализ с учётом смешанного порядка интеграции переменных (I (0) и I (1)) и ограниченной выборки, что позволило корректно выявить как краткосрочные, так и долгосрочные зависимости. Новизна также проявляется в одновременном включении макроэкономических (GRP, CPI, IND) и институциональных (BUS, TAX) факторов в единую эконометрическую модель, что дало возможность количественно оценить их дифференцированное воздействие на инвестиционную активность. Дополнительно получены новые эмпирические результаты, раскрывающие устойчивую долгосрочную связь между экономическим ростом, налоговой нагрузкой и инвестициями, а также выявляющие особенности краткосрочной адаптации инвестиционной системы через механизм коррекции ошибок, что расширяет научное понимание инвестиционных процессов на региональном уровне.

Выводы. Результаты анализа, полученные в данном исследовании, следующие:

Во-первых, выявлена долгосрочная равновесная зависимость между инвестициями и совокупностью институциональных, макроэкономических и социально-трудовых факторов. Bounds-тест подтверждает коинтеграцию, а отрицательный и значимый коэффициент ECM - наличие механизма возврата к равновесию и устойчивость инвестиционной системы.

Во-вторых, валовой региональный продукт является ключевым драйвером инвестиций: его положительное и значимое влияние подтверждает роль экономического роста как базового фактора инвестиционного климата.

В-третьих, институциональная среда оказывает значимое влияние: налоговая нагрузка и деловая активность имеют причинно-следственную связь с инвестициями, что подчёркивает важность институциональных реформ.

В-четвёртых, социально-трудовые факторы влияют преимущественно в краткосрочном периоде и играют вторичную, но значимую роль.

Диагностические тесты подтверждают корректность модели и надёжность результатов, позволяя делать обоснованные выводы о факторах инвестиционной активности.

С учётом ограничений исследования можно выделить направления для дальнейших работ. Ограниченность временного интервала и объёма выборки требует расширения эмпирической базы, что позволит лучше учитывать циклические колебания и повысить надёжность оценок.

Перспективно расширение институциональных индикаторов за счёт показателей качества управления, регуляторной эффективности, прозрачности и защиты прав собственности для более глубокой оценки их влияния.

Также важны межрегиональные сравнительные исследования на основе панельных данных, позволяющие выявить пространственные различия инвестиционного климата.

Использование альтернативных эконометрических методов (VAR/VECM, панельные и структурные модели) позволит проверить устойчивость результатов и расширить аналитические возможности исследования.

Литература

1. Кабжалялова М. и др. Инвестиции в основной капитал в 1 полугодии 2025: ускорение динамики за счет бюджетных средств. -2025. URL: https://halykfinance.kz/download/files/analytics/invest_6m2025.pdf. -Дата обращения: 21.01.2026.

2. Алпысбаева С.Н., Таутенов Е.И., Жанакова Н.Н. Влияние инвестиций на динамику и качество экономического роста Казахстана //Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. Экономическая серия. -2021. -№ 4. -С.24–39. DOI 10.32523/2789-4320-2021-4-24-39.

3. Газалиева А.К., Сембеков А.К., Аппакова Г.Н. Тенденции и стратегические направления развития инвестиционного климата в Казахстане // Статистика, учет и аудит. -2025. -№ 2. -С.198-211. DOI 10.51579/1563-2415.2025.-2.15.

4. Петровская М. Современное состояние инвестиционной политики Республики Казахстан //Экономическая серия Вестника ЕНУ им. Л.Н. Гумилёва. -2024. -№ 1. -С.256-270. DOI 10.32523/2789-4320-2024-1-256-270.

5. Мырзахметова А.М., Панзабекова А.Ж., Халитова М.М., Смагулова А.С. Анализ современной макроэкономической среды в Казахстане: влияние макроэкономической среды на экономическое поведение // Вестник университета «Туран». -2024. -№ 1(101). -С.69-83. DOI 10.46914/1562-2959-2024-1-1-69-83.

6. Бекбаева А.Е., Кесер Е. Влияние макроэкономических факторов на общий гоовой объем Инвестиций в проекты ГЧП// Herald of the Kazakh-British Technical University. - 2024.-№ 2(69). - С.345-352. DOI 10.55452/1998-6688-2024-21-2-345-352.

7. Энгл Р.Ф., Грейнджер К.В.Дж. Коинтеграция и коррекция ошибок: представление, оценка и тестирование // Прикладная эконометрика. -2015. -Т.39(3). -С.106-135.

8. Suripto S., Khoirudin R., Salim A., Prihandika G.D., Riza I.N., Athfal A.A. Analysis of institutional quality impact on foreign direct investment: A case study of countries in America, Asia, and Europe // International Journal of Accounting & Finance in Asia Pacific. -2025. -Vol 8(1). - P.54-71. DOI 10.32535/ijafap.v8i1.3579.

9. Zhang Yu, Li Yihang, Zhang Kun. The impact of host country institutional quality on OFDI: Evidence from China //Journal of international trade & economic development. - 2024. -Vol.14(3). - P. 51-64. DOI 10.1080/09638199.2024.2320156.

10. Gökçeli E. Institutional quality and foreign direct investment: evidence from OECD countries // Ekonomický časopis/Journal of Economics. -2023. -Vol.71(3). -P.222-257. DOI 10.31577/ekoncas.2023.03.03.

11. He Y., Yoo T.H. Financial development impact on domestic investment: does income level matter? //Cogent business & management. -2024. -Vol. 12(1). -P.121-135. DOI 10.1080/23322039.2024.2321811

12. Farooq U., Tabash M.I., Hamouri B., Daniel L.N., Safi S.K. Nexus between Macroeconomic Factors and Corporate Investment: Empirical Evidence from GCC Markets //International Journal of Financial Studies. -2023. -Vol.11(1):35. DOI 10.3390/ijfs11010035.

13. Kumar J., Xi, C., Kumari J., Huang J. Macroeconomic and Institutional Determinants of Foreign Direct Investment in SAARC Countries //Problemy Ekorozwoju. - 2025. -Vol.20(1). - P.271-287. DOI 10.35784/preko.6747.

14. Тайбек Ж.Қ., Кожамкулова И.Е., Оспан Б.І Экономикалық тұрақты өсудегі инвестициялық әлеует // Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының хабаршысы. -2025. -Т.2 (414). -Б.569–586. DOI 10.32014/2025.2518-1467.945.

15. Desbordes R., Wei S.-J. The effects of financial development on foreign direct investment // Journal

of Development Economics. -2017. -Vol.127(C). -P.153–168. DOI 10.1016/j.jdeveco.2017.02.008.

16. Каранфил Д., Андрошина И. Оценка эффективности инвестиционного проекта // Векторная экономика. -2022. -№ 5. - С.1- 8.DOI 10.51691/2500-3666_2022_5_8.

17. Oksana I., Romashko O., Semenov A., Sazonova T., et al. Methods of multi-criteria evaluation of economic efficiency of investment projects // Journal of Project Management. -2021. - 6. -P.93-98. DOI 10.5267/j.jpm.2021.1.001.

18. Brenner T. The impact of foreign direct investment on economic growth: an empirical analysis of different effects in less and more developed countries/ Philipps-Universität Marburg. -2014. -13p.

19. Мякшьин В., Петров В.Н., Песякова Т.Н. Определение региональных отраслевых приоритетов на основе ключевых точек инвестиционного роста//Эконмика региона. -2024. -№ 20(3). - С.867-883. DOI 10.17059/ekon.reg.2024-3-17.

20. Gainova R.A., Shaidullin R.N., Safiullin L.N., Maratkanova E.M. Infrastructural component in maintenance of competitiveness of region // World Applied Sciences Journal. - 2013. - Vol.27(13). - P.97-101. DOI 10.5829/idosi.wasj.2013.27.emf.20.

21. Balabekova D., Tastybayeva N., Yeralina E., Tursyn A., Kupesheva A., Alzhanova A. Study of investment and construction in management processes in the economy of Kazakhstan // Qubahan Academic Journal. -2025. -Vol.5(4). -P.668–683. DOI 10.48161/qaj. v5n4a2.

References

1. Kabzhaljalova M. i dr. Investicii v osnovnoj kapital v 1 polugodii 2025: uskorenie dinamiki za schet bjudzhetnyh sredstv. -2025. URL: https://halykfinance.kz/download/files/analytics/invest_6m2025.pdf. - Data obrashhenija: 21.01.2026. [in Russian]

2. Alpysbaeva S.N., Tautenov E.I., Zhanakova N.N. Vlijanie investicij na dinamiku i kachestvo jekonomicheskogo rosta Kazahstana //Vestnik Evrazijskogo nacional’ nogo universiteta imeni L.N. Gumileva. Jekonomicheskaja serija. -2021. -№ 4. -S.24–39. DOI 10.32523/2789-4320-2021-4-24-39. [in Russian]

3. Gazalieva A.K., Sembekov A.K., Appakova G.N. Tendencii i strategicheskie napravlenija razvitija investicionnogo klimata v Kazahstane // Statistika, uchet i audit. -2025. -№ 2. -S.198-211. DOI 10.51579/1563-2415.2025.-2.15. [in Russian]

4. Petrovskaja M. Sovremennoe sostojanie investicionnoj politiki Respubliki Kazahstan //Jekonomicheskaja serija Vestnika ENU im. L.N. Gumiljova. -2024. -№ 1. -S.256-270. DOI 10.32523/2789-4320-2024-1-256-270. [in Russian]

5. Myrzahmetova A.M., Panzabekova A.Zh., Halitova M.M., Smagulova A.S. Analiz sovremennoj makrojekonomicheskoj sredy v Kazahstane: vlijanie makrojekonomicheskoj sredy na

jekonomicheskoe povedenie // Vestnik universiteta «Turan». -2024. -№ 1(101). -S.69-83. DOI 10.46914/1562-2959-2024-1-1-69-83. [in Russian]

6. Bekbaeva A.E., Keser E. Vlijanie makrojekonomicheskih faktorov na obshhij goovoj ob#em Investicij v proekty GChP// Herald of the Kazakh-British Technical University. - 2024.-№ 2(69). - S.345-352. DOI 10.55452/1998-6688-2024-21-2-345-352. [in Russian]

7. Jengl R.F., Grejndzher K.V. Dzh. Kointegracija i korrekcija oshibok: predstavlenie, ocenka i testirovanie // Prikladnaja jekonometrika. -2015. -T.39(3). -S.106-135. [in Russian]

8. Suripto S., Khoirudin R., Salim A., Prihandika G.D., Riza I.N., Athfal A.A. Analysis of institutional quality impact on foreign direct investment: A case study of countries in America, Asia, and Europe

// International Journal of Accounting & Finance in Asia Pacific. -2025. -Vol 8(1). - P.54-71. DOI 10.32535/ijafap.v8i1.3579.

9. Zhang Yu, Li Yihang, Zhang Kun. The impact of host country institutional quality on OFDI: Evidence from China //Journal of international trade & economic development. - 2024. -Vol.14(3). - P. 51-64. DOI 10.1080/09638199.2024.2320156.

10. Gökçeli E. Institutional quality and foreign direct investment: evidence from OECD countries // Ekonomický časopis/Journal of Economics. -2023. -Vol.71(3). -P.222-257. DOI 10.31577/ekoncas.2023.03.03.

11. He Y., Yoo T.H. Financial development impact on domestic investment: does income level matter? //Cogent business & management. -2024. -Vol. 12(1). -P.121-135. DOI 10.1080/23322039.2024.2321811

12. Farooq U., Tabash M.I., Hamouri B., Daniel L.N., Safi S.K. Nexus between Macroeconomic Factors and Corporate Investment: Empirical Evidence from GCC Markets //International Journal of Financial Studies. -2023. -Vol.11(1):35. DOI 10.3390/ijfs11010035.

13. Kumar J., Xi, C., Kumari J., Huang J. Macroeconomic and Institutional Determinants of Foreign Direct Investment in SAARC Countries //Problemy Ekorozwoju. - 2025. -Vol.20(1). - P.271-287. DOI 10.35784/preko.6747.

14. Tajbek Zh.Қ., Kozhamkulova I.E., Ospan B.I Jekonomikalyқ tұraқty өsudegi investicijalyқ әleuet // Қazaқstan Respublikasy Ұlttyқ ғylym akademijasynyң habarshysy. -2025. -T.2 (414). -B.569–586. DOI 10.32014/2025.2518-1467.945. [in Kazakh]

15. Desbordes R., Wei S.-J. The effects of financial development on foreign direct investment // Journal of Development Economics. -2017. -Vol.127(C). -P.153–168. DOI 10.1016/j.jdeveco.2017.02.008.

16. Karanfil D., Androshina I. Ocenka jeffektivnosti investicionnogo proekta // Vektornaja jekonomika. -2022. -№ 5. - S.1- 8.DOI 10.51691/2500-3666_2022_5_8. [in Russian]

17. Oksana I., Romashko O., Semenov A., Sazonova T., et al. Methods of multi-criteria evaluation of economic efficiency of investment projects // Journal of Project Management. -2021. - 6. -P.93-98. DOI 10.5267/j.jpm.2021.1.001.

18. Brenner T. The impact of foreign direct investment on economic growth: an empirical analysis of different effects in less and more developed countries/ Philipps-Universität Marburg. -2014. -13p.

19. Mjaksh’ in V., Petrov V.N., Pesjakova T.N. Opredelenie regional’ nyh otraslevyh prioritetov na osnove kljuchevyh tochek investicionnogo rosta//Jekonmika regiona. -2024.-№ 20(3).- S.867-883. DOI 10.17059/ekon.reg.2024-3-17. [in Russian]

20. Gainova R.A., Shaidullin R.N., Safiullin L.N., Maratkanova E.M. Infrastructural component in maintenance of competitiveness of region // World Applied Sciences Journal. - 2013. - Vol.27(13). - P.97-101. DOI 10.5829/idosi.wasj.2013.27.emf.20.

21. Balabekova D., Tastybayeva N., Yeralina E., Tursyn A., Kupesheva A., Alzhanova A. Study of investment and construction in management processes in the economy of Kazakhstan // Qubahan Academic Journal. -2025. -Vol.5(4). -P.668–683. DOI 10.48161/qaj. v5n4a2086.

Сведения об авторах

Камысбаев М.К. - д.э.н., профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан, e-mail: m.kamysbayev@satbayev.university;

Абуталипов М.М. - PhD, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан, e-mail: m.abutalipov@satbayev.university;

Сатыбалдиева Д.О. - PhD, ассоциированный профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан, e-mail:d.satybaldiyeva@satbayev.university;

Кудайбергенова А.А. - магистр экономических наук, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан, e-mail: aisulu_ka70@mail.ru;

Айнакеева Н.Ж. - PhD, ассистент профессора, Нархоз университет, Алматы, Казахстан, e-ainakeyevanursaule@gmail.com.

Information about the authors

Kamysbayev M.K. - Doctor of Economic Sciences, Professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: m.kamysbayev@satbayev.university;

Abutalipov M.M. - PhD, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: m.abutalipov@satbayev.university;

Satybaldiyeva D.O.- PhD, Associate Professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: d.satybaldiyeva@satbayev.university;

Kudaibergenova A.A. - Master of Economic Sciences, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: aisulu_ka70@mail.ru;

Ainakeyeva N.Zh. - PhD, assistant professor, Narxoz University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: ainakeyevanursaule@gmail.com.

МРНТИ 06.77.02 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1511**

СОЦИАЛЬНАЯ РАБОТА КАК ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ РИСКАМИ РАБОТНИКОВ, ЗАНЯТЫХ ВО ВРЕДНЫХ И ОПАСНЫХ УСЛОВИЯХ ТРУДА

[1]М.А. Умирзакова✉, [1]Г.А. Ибраева, [1]И.Ж. Кулакаева, [1]А.Г. Токмырзаева, [1]А.К. Беккожаева, [2]Г.Б. Дузельбаева

[1]Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан,
[2]Университет Нархоз, Алматы, Казахстан

✉ *Корреспондент-автор: umir.meruert@gmail.com*

Статья посвящена анализу роли социальной работы в системе защиты работников, занятых во вредных и опасных условиях труда. Актуальность темы связана с сохраняющимся масштабом профессиональных рисков и значительной численностью работников, занятых в условиях, не соответствующих санитарно-гигиеническим требованиям. Действующая модель охраны труда преимущественно ориентирована на технические и компенсационные механизмы, тогда как социальные последствия профессиональных заболеваний и утраты трудоспособности остаются недостаточно учтенными.

В работе использованы данные официальной статистики по Республике Казахстан, материалы мониторинга условий труда, а также результаты анализа международных практик профессиональной реабилитации и программ возвращения к труду (Return-to-Work). Обобщены современные научные подходы к occupational social work и программам поддержки работников.

Показано, что между механизмами обеспечения безопасности труда и реальными социальными последствиями профессиональных рисков существует устойчивый разрыв. Компенсационные выплаты и льготы не обеспечивают устойчивого возвращения к труду и снижения риска социального выпадения работников. Сделан вывод о необходимости расширения социальной составляющей в системе защиты работников, занятых во вредных и опасных условиях труда.

Ключевые слова: социальная работа, охрана труда, профессиональные риски, вредные условия труда, профессиональная реабилитация, Return-to-Work, социальная защита работников.

ЗИЯНДЫ ЖӘНЕ ҚАУІПТІ ЕҢБЕК ЖАҒДАЙЛАРЫНДА ЖҰМЫС ІСТЕЙТІН ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРДІҢ КӘСІБИ ТӘУЕКЕЛДЕРІН БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНДЕГІ ӘЛЕУМЕТТІК ЖҰМЫС ЭЛЕМЕНТІ

[1]М.А. Умирзакова✉, [1]Г.А. Ибраева, [1]И.Ж. Кулакаева, [1]А.Ғ. Тоқмырзаева, [1]А.К. Беккожаева, [2]Г.Б. Дузельбаева

[1]Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан,
[2]Нархоз университеті Алматы, Қазақстан,
e-mail: umir.meruert@gmail.com

Мақала зиянды және қауіпті еңбек жағдайларында жұмыс істейтін қызметкерлерді қорғау жүйесіндегі әлеуметтік жұмыстың рөлін талдауға арналған. Зерттеу тақырыбының өзектілігі кәсіби тәуекелдердің сақталып отырған ауқымымен және санитарлық-гигиеналық талаптарға сәйкес келмейтін жағдайларда еңбек ететін қызметкерлер санының едәуір болуымен байланысты. Қолданыстағы еңбекті қорғау жүйесі негізінен техникалық және өтемақылық тетіктерге бағытталған, ал кәсіби аурулар мен еңбекке қабілеттіліктің жоғалуының әлеуметтік салдары жеткілікті деңгейде ескерілмейді.

Зерттеу барысында Қазақстан Республикасы бойынша ресми статистикалық деректер, еңбек жағдайларын мониторингтеу материалдары, сондай-ақ кәсіби оңалту және еңбекке қайта оралу

(Return-to-Work) бағдарламаларына қатысты халықаралық тәжірибе талданды. Occupational social work және қызметкерлерді қолдау бағдарламаларына қатысты заманауи ғылыми тәсілдер жинақталып қарастырылды.

Зерттеу нәтижелері еңбек қауіпсіздігін қамтамасыз ету тетіктері мен кәсіби тәуекелдердің нақты әлеуметтік салдары арасында тұрақты алшақтық бар екенін көрсетті. Өтемақы төлемдері мен жеңілдіктер қызметкерлердің еңбекке тұрақты қайта оралуын және әлеуметтік тұрғыдан шеттетілу қаупін төмендетуді толық қамтамасыз етпейді. Осыған байланысты зиянды және қауіпті еңбек жағдайларында жұмыс істейтін қызметкерлерді қорғау жүйесінде әлеуметтік құрамдас бөлікті кеңейту қажеттілігі негізделеді.

Түйін сөздер: әлеуметтік жұмыс, еңбекті қорғау, кәсіби тәуекелдер, зиянды еңбек жағдайлары, кәсіби оңалту, Return-to-Work, қызметкерлерді әлеуметтік қорғау.

SOCIAL WORK AS AN ELEMENT OF THE PROFESSIONAL RISK MANAGEMENT SYSTEM FOR WORKERS EMPLOYED IN HARMFUL AND HAZARDOUS WORKING CONDITIONS

[1]M. Umirzakova✉, [1]G. Ibraeva, [1]I. Kulakayeva, [1]A. Tokmyrzayeva, [1]A. Bekkhozhayeva, [2]G. Duzelbayeva

[1]Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan,
[2]Narxoz University, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: umir.meruert@gmail.com

The article examines the role of social work within the system of protection for workers employed in harmful and hazardous working conditions. The relevance of the study is determined by the persistent scale of occupational risks and the significant number of workers engaged in conditions that do not meet sanitary and hygienic standards. The existing occupational safety model is primarily focused on technical and compensatory mechanisms, while the social consequences of occupational diseases and loss of work capacity remain insufficiently addressed.

The study is based on official statistical data from the Republic of Kazakhstan, materials from labor condition monitoring, and an analysis of international practices in vocational rehabilitation and Return-to-Work (RTW) programs. Contemporary academic approaches to occupational social work and employee assistance programs are also reviewed.

The findings reveal a structural gap between occupational safety mechanisms and the actual social consequences of professional risks. Compensation payments and benefits do not ensure sustainable return to work or reduce the risk of long-term labor market exclusion. The study concludes that strengthening the social dimension of worker protection systems is necessary for employees engaged in harmful and hazardous working conditions.

Keywords: social work, occupational safety, occupational risks, harmful working conditions, vocational rehabilitation, Return-to-Work, social protection of workers.

Введение. Проблематика защиты работников, занятых во вредных и опасных условиях труда, сохраняет устойчивую актуальность в условиях индустриальной модернизации, технологической трансформации производства и роста профессиональных рисков. Несмотря на развитие нормативной базы и совершенствование технических стандартов безопасности, значительная часть работников продолжает осуществлять трудовую деятельность в условиях воздействия неблагоприятных производственных факторов. Это обусловливает не только медицинские и экономические последствия, но и долгосрочные социальные риски, связанные с утратой или ограничением трудоспособности, снижением доходов и риском выпадения из занятости.

Исторически система охраны труда формировалась преимущественно в рамках санитарно-гигиенического и инженерно-технического подхода. Основное внимание уделялось нормирова-

нию производственных факторов, предотвращению травматизма и профессиональных заболеваний, а также установлению компенсаций за работу во вредных условиях. В дальнейшем значимое развитие получила страховая модель защиты работников, предусматривающая выплаты и льготы в случае утраты трудоспособности. Однако при всей важности указанных механизмов они ориентированы главным образом на фиксацию и компенсацию последствий риска, а не на сопровождение работника в процессе восстановления и возвращения к труду.

В современных условиях все более очевидным становится разрыв между техническими механизмами обеспечения безопасности труда и социальными последствиями профессиональных рисков. Профессиональное заболевание или производственная травма нередко влечет за собой не только временную нетрудоспособность, но и изменение социального статуса, утрату устойчивых трудовых связей, рост психологической напряженности. Эти аспекты выходят за пределы традиционной системы охраны труда и требуют междисциплинарного подхода.

В международной практике постепенно формируется понимание необходимости комплексного сопровождения работников, включая элементы социальной поддержки и координации процессов возвращения к труду. В этой связи возрастает интерес к направлениям occupational social work и программам поддержки работников, ориентированным на снижение риска длительного выпадения из занятости.

Вместе с тем в отечественных исследованиях роль социальной работы в системе защиты работников, занятых во вредных и опасных условиях труда, остается недостаточно раскрытой. Чаще всего она рассматривается фрагментарно — либо в контексте общей социальной защиты, либо в рамках реабилитации лиц с инвалидностью, без системной увязки с управлением профессиональными рисками.

Цель исследования — обосновать необходимость интеграции социальной работы в систему защиты работников, подвергающихся воздействию вредных и опасных производственных факторов.

Гипотеза исследования заключается в том, что существующая система защиты работников, занятых во вредных и опасных условиях труда, ориентированная преимущественно на технические и компенсационные механизмы, является недостаточной для минимизации социальных последствий профессиональных рисков, что обусловливает необходимость включения инструментов социальной работы.

Научная новизна исследования состоит в комплексном рассмотрении социальной работы в контексте управления профессиональными рисками и защиты работников, занятых во вредных и опасных условиях труда, с опорой на сопоставление отечественных статистических данных и международных практик возвращения к труду.

Литературный обзор. Проблематика защиты работников, занятых во вредных и опасных условиях труда, формировалась в несколько институциональных этапов, отражающих эволюцию представлений о профессиональном риске и механизмах его регулирования. На ранних этапах охрана труда рассматривалась преимущественно в рамках санитарно-гигиенической и инженерно-технической парадигмы. Центральным объектом регулирования выступали физические, химические и биологические производственные факторы, подлежащие нормированию и контролю. Основной акцент делался на технических мерах защиты, стандартизации условий труда и предупреждении травматизма.

В советской научной традиции данная модель была институционализирована через систему гигиенической оценки условий труда и их классификации по степени вредности и опасности. Сформировавшаяся система нормативов и аттестации рабочих мест обеспечивала формализованный контроль производственной среды, однако социальные последствия утраты или ограничения трудоспособности работников оставались преимущественно за пределами научного анализа. Охрана труда воспринималась как совокупность регламентов и технических требований, тогда как вопросы социальной адаптации пострадавших работников и их долгосрочного

сопровождения не рассматривались как самостоятельный предмет исследования.

Качественный поворот в понимании профессионального риска произошел с формированием страховой модели защиты работников в конце XIX – начале XX века. Развитие системы workers' compensation стало институциональным ответом на рост индустриального травматизма. Как показывают P. Fishback и S. Kantor [1], переход к безвиновному принципу компенсации означал признание производственного вреда не индивидуальной виной работодателя или работника, а социальным риском, подлежащим коллективному перераспределению. Тем самым профессиональный риск приобрел статус общественно значимой категории, требующей нормативного закрепления.

Правовой аспект трансформации детально проанализирован J. F. Witt [2], который рассматривает становление компенсационной модели как переосмысление индустриальной травмы - от частного гражданско-правового спора к элементу системы социального регулирования. Компенсация стала инструментом институционального признания профессионального риска, однако ее функциональные возможности оказались ограниченными. Предоставление страховых выплат не решало проблему социальной изоляции, утраты профессиональной идентичности и выпадения из рынка труда.

Осознание этих ограничений обусловило формирование реабилитационной парадигмы. На международном уровне она закреплена в Конвенции МОТ № 159 «О профессиональной реабилитации и занятости инвалидов» (1983) [3], которая ориентирует государства на развитие активной политики восстановления трудового потенциала. В центре внимания оказывается не только компенсация ущерба, но и возвращение человека к занятости посредством медицинской, профессиональной и организационной реабилитации.

Развитие данной логики отражено и в аналитических материалах OECD, где подчеркивается необходимость перехода от пассивных выплат к активным мерам интеграции в трудовую деятельность, а также межведомственной координации служб здравоохранения, занятости и социальной поддержки [4]. Теоретическое осмысление этих процессов представлено в концепции Return-to-Work (RTW), в рамках которой возвращение к труду рассматривается как многофакторный социальный процесс, включающий медицинские, организационные, психологические и институциональные компоненты [5]. Тем самым восстановление трудоспособности перестает быть исключительно медицинской задачей и приобретает междисциплинарный характер.

Параллельно развивается риск-ориентированная модель управления профессиональными рисками (Occupational Safety and Health – OSH), закрепленная в Конвенциях МОТ № 155 и № 187 [6,7]. В отличие от прежнего подхода, основанного на постфактум-компенсации, данная модель ориентирована на системную профилактику, мониторинг и управление профессиональными рисками на уровне предприятия и государства. Риск становится не только объектом компенсации или реабилитации, но и управляемой категорией, требующей постоянной оценки и предупреждения.

В Республике Казахстан развитие риск-ориентированного подхода сопровождается формированием научно-методической базы оценки профессиональных рисков. Отечественные исследования фиксируют переход от формальной аттестации рабочих мест к управлению профессиональными рисками как более прогностическому инструменту регулирования [8]. Эмпирические данные по промышленным отраслям демонстрируют устойчиво высокие уровни вредных факторов, включая превышение допустимых значений шума и вибрации, что подтверждает необходимость системного риск-менеджмента [9]. Одновременно в научных публикациях анализируются страховые и правовые механизмы предупреждения производственного травматизма и стимулирования инвестиций в безопасные условия труда [10,11].

В научной традиции социальной работы профессиональный риск рассматривается не только как фактор физического повреждения, но и как

источник вторичных социальных последствий - утраты дохода, снижения профессионального статуса, нарушения семейных ролей и дезадаптации. В этом контексте профессиональный риск выступает частным проявлением более широкой категории социального риска, затрагивающего жизненные стратегии работника и его социальное окружение.

Институциональное оформление социальной функции в сфере труда получило развитие в рамках направления occupational social work. Согласно P. A. Kurzman [12], occupational social work представляет собой специализированную область социальной работы, ориентированную на поддержку работников в организационной среде, профилактику социальной дезадаптации и координацию помощи при трудовых и жизненных кризисах. Данное направление интегрирует элементы социальной диагностики, консультирования, медиативных практик и межведомственного взаимодействия в систему управления персоналом.

Практическим механизмом реализации социальной функции в организациях выступают Employee Assistance Programs (EAP). В современном аналитическом обзоре M. Attridge [13] подчеркивается, что EAP трансформировались из узкоспециализированных программ помощи при зависимостях в комплексные системы психосоциальной поддержки работников. Программы включают консультирование, кризисное вмешательство, поддержку в период временной нетрудоспособности, содействие в возврате к труду и профилактику профессионального выгорания. Исследования фиксируют связь между доступностью EAP и снижением абсентеизма, повышением организационной устойчивости и сохранением занятости.

Институционализация данных программ подтверждается практикой европейских стран. Согласно отчету, UK Employee Assistance Professionals Association [14], системы помощи работникам интегрированы в корпоративные стратегии управления рисками и рассматриваются как элемент поддержки работников, занятых в условиях повышенной профессиональной нагрузки.

Таким образом, международный опыт демонстрирует, что социальная работа в сфере труда выполняет функции сопровождения, координации и профилактики социальных последствий профессионального риска. При этом в ряде национальных систем охраны труда данные механизмы не институционализированы как самостоятельный компонент защиты работников, занятых во вредных и опасных условиях труда, что подтверждает актуальность дальнейшего научного анализа.

Материалы и методы. Исследование основано на анализе статистических, нормативных и научных источников.

В качестве эмпирической базы использованы данные официальной статистики Республики Казахстан, отражающие численность работников, занятых во вредных и опасных условиях труда, структуру производственных факторов, а также сведения о предоставляемых компенсациях и дополнительных гарантиях. Проанализированы материалы мониторинга условий труда, действующие нормативные документы в сфере охраны труда и социальной защиты, а также публичные отчеты государственных органов и национальных компаний по вопросам промышленной безопасности и условий труда.

Для сопоставления отечественной практики с международным опытом проведен анализ зарубежных исследований, посвященных профессиональной реабилитации и программам возвращения к труду (Return-to-Work). Рассмотрены публикации по occupational social work и программам поддержки работников, направленным на снижение риска длительного выпадения из занятости.

В работе использованы методы анализа, сопоставления и обобщения, что позволило выявить особенности существующей системы защиты работников и определить место социальной работы в структуре управления профессиональными рисками.

Обсуждение и результаты. Статистические данные свидетельствуют о значительном мас-

штабе занятости во вредных и неблагоприятных условиях труда в Республике Казахстан. По состоянию на начало 2024 г. численность работников, подвергающихся воздействию различных производственных факторов, составила 1 692 214 человек, из которых 410 318 (около 24%) заняты в условиях, не отвечающих санитарно-гигиеническим требованиям (таблица 1). Таким образом, речь идет о структурно устойчивом сегменте занятости, сопряженном с повышенными профессиональными и социальными рисками.

Таблица 1 - Численность работников, занятых во вредных и неблагоприятных условиях труда в Республике Казахстан

	Численность работников			**Из них**					
	всего	в том числе рабочих	из нее занятых в ночную смену	занятых в условиях, не отвечающих санитарно-гигиеническим требованиям (нормам)	из них работающих под воздействием			занятых тяжелым физическим трудом	работающих на оборудовании, не отвечающим требованиям безопасности
					повышенного уровня шума и вибрации	повышенной запыленности и загазованности воздуха рабочей зоны, превышающих ПДК	неблагоприятного температурного режима		
Всего	1 692 214	885 514	417 935	410 318	187 709	131 389	65 575	107 166	1 893
Мужчина	1 011 657	656 346	296 796	317 394	163 762	114 304	57 061	95 382	1 194
Женщина	680 557	229 168	121 139	92 924	23 947	17 085	8 514	11 784	699
Источник – [15]									

Анализ распределения по видам воздействия показывает, что 187 709 работников подвергаются повышенному уровню шума и вибрации, 131 389 - воздействию запыленности и загазованности воздуха, 65 575 заняты тяжелым физическим трудом, а 107 166 работают в условиях неблагоприятного температурного режима (таблица 1). Дополнительную нагрузку формирует работа в ночную смену, охватывающая 417 935 человек. Комбинация указанных факторов усиливает совокупный профессиональный риск и повышает вероятность развития профессиональных заболеваний и долгосрочных ограничений трудоспособности.

Гендерная структура занятости демонстрирует выраженную отраслевую дифференциацию: среди работников, занятых в неблагоприятных условиях, около 77% составляют мужчины и 23% — женщины (таблица 1). Данная пропорция отражает концентрацию вредных производств в добывающем, энергетическом и транспортном секторах и подтверждает системный ха-

рактер проблемы.

Одновременно статистика фиксирует наличие институционально закрепленных компенсационных механизмов. Как видно из таблицы 2, 697 301 работнику установлен хотя бы один вид компенсации за работу во вредных и неблагоприятных условиях труда, что составляет около 41% от общей численности занятых в данных условиях. Наиболее распространенной формой компенсации являются дополнительные отпуска (543 471 человек), далее следуют доплаты за вредные условия труда (419 427), предоставление молока или равноценных пищевых продуктов (323 820) и лечебно-профилактическое питание (97 762). Правом сокращенного рабочего дня пользуются лишь 45 833 работника (таблица 2).

Таблица 2 - Численность работников, которым за работу во вредных и других неблагоприятных условиях труда установлены компенсации, по регионам

	Численность работников, которым установлен хотя бы один вид компенсации	**Из них**				
		дополнительные отпуска	**сокращенный рабочий день**	**лечебно-профилактическое питание**	**молоко и равноценные пищевые продукты**	**доплаты за вредные и другие неблагоприятные условия труда**
Республика Казахстан	697 301	543 471	45 833	97 762	323 820	419 427
Мужчина	480 731	387 720	29 532	85 882	246 838	290 407
Женщина	216 570	155 751	16 301	11 880	76 982	129 020
Источник – [15]						

Представленные данные подтверждают наличие формализованной системы компенсационных мер. Однако преобладание традиционных санитарно-гигиенических и материальных форм компенсации указывает на доминирование компенсаторной логики защиты. Компенсация снижает непосредственные экономические потери, но не устраняет комплекс социальных рисков, сопровождающих занятость во вредных условиях труда, включая снижение социального благополучия и рост психологической напряженности.

Дополнительное измерение проблемы раскрывается через результаты мониторинга социальной стабильности Samruk Research Services. Как показано на рисунке 1, при высоком уровне удовлетворенности условиями и безопасностью труда (93–98%) индекс социального благополучия демонстрирует значительно более низкие значения (до 42%). Данный разрыв свидетельствует о различии между объективной оценкой производственной безопасности и субъективным ощущением социальной защищенности.

Таким образом, безопасность производственного процесса и социальное благополучие работников представляют собой взаимосвязанные, но не тождественные категории. Даже при наличии развитой системы компенсаций (таблица 2)

и формального соблюдения требований охраны труда (таблица 1) сохраняются риски социальной уязвимости, связанные с уровнем доходов, стабильностью занятости, ощущением справедливости и качеством социального диалога.

Особую значимость данная проблема приобретает для работников, занятых во вредных и опасных условиях труда, поскольку они одновременно подвержены профессиональным, экономическим и социально-психологическим рискам. Комбинация этих факторов усиливает чувствительность к вопросам оплаты труда и социальной справедливости, что может формировать латентный протестный потенциал.



Рис.1 - Индекс социального благополучия.
Источник - [16]

Следовательно, защита работников, занятых во вредных и опасных условиях труда, не может ограничиваться исключительно техническими и компенсационными инструментами. Полученные данные (таблицы 1 и 2, рисунок 1) подтверждают необходимость интеграции инструментов социальной диагностики, развития механизмов социального диалога и институционализации социальной работы как элемента устойчивости трудовых коллективов и системы управления профессиональными рисками.

Международная эмпирическая база свидетельствует, что снижение длительности временной нетрудоспособности и повышение устойчивости занятости достигаются не только за счет медицинского лечения или компенсационных выплат, но и при включении организационно-координационных механизмов на уровне рабочего места.

Исследование workplace-based interventions, представленное S.H. van Oostrom и C.R.L. Boot, показывает, что программы, включающие адаптацию рабочего места, участие работодателя и координацию возврата к труду, обеспечивают статистически значимое ускорение устойчивого возвращения к занятости (sustainable RTW). В объединенном анализе вероятность устойчивого возврата к труду в группе интервенций была выше по сравнению со стандартной практикой (Hazard Ratio = 1,6; 95% CI 1,2–2,0). Для работников с нарушениями опорно-двигательного аппарата эффект достигал HR = 1,8 (95% CI 1,4–2,3). Кроме того, суммарная продолжительность временной нетрудоспособности в течение 12 месяцев наблюдения сокращалась в среднем на 35 дней (95% CI 17–53 дня), а для musculoskeletal disorders - на 41 день (95% CI 25–56 дней) [17].

Обзор Franche et al. (2005), включивший исследования с высоким уровнем методологической строгости, уточняет, какие именно компоненты интервенций обеспечивают наибольший эффект. Установлены сильные доказательства сокращения продолжительности нетрудоспособности при наличии предложения модифицированной работы и координации взаимодействия между медицинским специалистом и работодателем. В ряде включенных исследований зафиксированы количественные различия: например, в шведском рандомизированном исследова-

нии снижение числа дней больничного по группе с нарушениями спины составило до 45% по сравнению с контролем; в канадском исследовании при наличии модифицированной работы показатель возврата к труду был почти в два раза выше (RR = 1,93; 95% CI 1,54–2,42). Наличие проактивных механизмов сопровождения коррелировало со снижением числа потерянных рабочих дней [18].

Приведенные данные демонстрируют, что организационно-координационные интервенции позволяют сократить продолжительность временной нетрудоспособности на десятки дней в год и существенно повысить вероятность устойчивого возврата к занятости. Ключевым элементом таких моделей выступает не только техническая адаптация рабочего места, но и координация взаимодействия между работником, работодателем, медицинскими и страховыми структурами.

Таким образом, международный опыт указывает на институциональную значимость социальной функции в системе управления профессиональными рисками. В зарубежных моделях данная функция реализуется через механизмы case-management, раннего контакта с работником в период временной нетрудоспособности, медиативного сопровождения и координации взаимодействия между работодателем, медицинскими и страховыми структурами. Фактически речь идет о профессиональной социальной работе в организационной среде, направленной на снижение вторичных социальных последствий профессионального риска.

В казахстанской практике подобная координационная и сопровождательная роль не институционализирована как самостоятельный компонент системы защиты работников, занятых во вредных и опасных условиях труда. Преобладание компенсаторной логики (таблица 2) при отсутствии структурированных механизмов социального сопровождения формирует институциональный разрыв между технической безопасностью и социальным благополучием работников.

Следовательно, переход от компенсаторной модели к социально-профилактическому сопровождению предполагает включение инструментов социальной диагностики, межведомственной координации и сопровождения работников в структуру управления профессиональными рисками. В этом контексте социальная работа может рассматриваться как структурный элемент устойчивости трудовых коллективов, обеспечивающий интеграцию медицинских, трудовых и социальных механизмов защиты.

Выводы. Проведенный анализ показал, что существующая система защиты работников, занятых во вредных и опасных условиях труда, преимущественно базируется на технических и компенсационных механизмах регулирования профессиональных рисков. Несмотря на развитие риск-ориентированного подхода, социальная составляющая защиты остается недостаточно структурированной.

Статистические данные по Республике Казахстан подтверждают значительный масштаб занятости во вредных условиях труда и наличие формализованных компенсационных мер. Однако преобладание материальных и санитарно-гигиенических форм компенсации не обеспечивает комплексного учета социальных последствий профессионального риска, включая снижение субъективного благополучия и риски дезадаптации.

Сопоставление с международными исследованиями программ возвращения к труду демонстрирует, что устойчивое восстановление занятости достигается при включении координационных и сопровождающих механизмов, обеспечивающих взаимодействие работодателя, медицинских служб и специалистов социальной поддержки.

Полученные результаты подтверждают выдвинутую гипотезу о том, что компенсационная модель защиты является недостаточной для минимизации социальных последствий профессиональных рисков. Интеграция социальной работы в систему управления профессиональными рисками рассматривается как необходимое направление развития защиты работников, занятых во вредных и опасных условиях труда.

В практическом плане полученные результаты позволяют обозначить необходимость расширения социальной составляющей в процедурах оценки и управления профессиональными рисками. Речь идет о включении элементов социальной диагностики, развитии механизмов сопровождения работников в период временной нетрудоспособности и усилении координации процесса возвращения к труду. Такие меры могут рассматриваться как логичное дополнение к действующей системе компенсационных и технических инструментов защиты.

При подготовке статьи использовался инструмент искусственного интеллекта Gemini (Google) исключительно в качестве вспомогательного средства для поиска научных публикаций и перевода отдельных фрагментов текста. Все аналитические выводы, интерпретация данных и окончательная редакция материала выполнены авторами.

Литература

1. Fishback P. V., Kantor S. E. A Prelude to the Welfare State: The Origins of Workers' Compensation. Chicago: University of Chicago Press, 2020.-196 p. ISBN 0-226-25163-2

2. Witt J. F. The Accidental Republic: Crippled Workingmen, Destitute Widows, and the Remaking of American Law. Cambridge: Harvard University Press, 2004.- 311 p. ISBN 0-674-01267-4.

3. International Labour Organization (ILO). Vocational Rehabilitation and Employment (Disabled Persons) Convention, 1983 (No.159). Geneva: ILO, 1983. https://www.ilo.org Дата обращения: 12.02.2026.

4. Sickness, Disability and Work breaking the barriers. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Sickness, Disability and Work: Breaking the Barriers. Paris: OECD Publishing, 2010. https://www.oecd.org. -Дата обращения: 12.02.2026.

5. Young A. E., Roessler R. T., Wasiak R., McPherson K. A developmental conceptualization of return to work // Journal of Occupational Rehabilitation. -2006.- Vol.15(4). - P.557–568. DOI 10.1007/s10926-005-8034-z.

6. International Labour Organization (ILO). Occupational Safety and Health Convention, 1981 (No.155). Geneva: ILO, 1981. https://normlex.ilo.org.- Дата обращения: 12.02.2026.

7. International Labour Organization (ILO). Promotional Framework for Occupational Safety and Health Convention, 2006 (No.187). Geneva: ILO, 2006. https://www.ilo.org. - Дата обращения: 12.02.2026.

8. Абилов А. К., Муканова Д. Б. Улучшение условий труда на предприятиях Республики Казахстан (сравнительный анализ аттестации условий труда и управления профессиональными рисками) // Теория и практика современной науки. - 2017. -№ 12(30). - С.21–26.

9. Iztileu A., et al. Assessment and Analysis of Occupational Risks in Underground Mining of Polymetallic Ores // International Journal of GEOMATE. -2023. -Vol.25(109). - P.101-108. DOI 10.21660/2023.109.m2309ю

10. Smatlayev B. M., Abikenova S., Saktaganova I. S. Legal analysis of the implementation of insurance programs in the Republic of Kazakhstan to prevent accidents at work and assess the need for investments in safe work at the expense of the insurance fund formed in the compulsory accident insurance system// BULLETIN of L.N. Gumilyov Eurasian National University. Law Series. -2023. - № 3(144). - P.42-50. DOI 10.32523/2616-6844-2023-144-3-42-50.

11. Шаяхметова Л. М., Курманов А., Айтимова Ш. Совершенствование охраны труда в Республике Казахстан: оценка профессиональных рисков и стратегии страхования от несчастных случаев на производстве // Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия общественных и гуманитарных наук. -2024. – Т.411(5). - С.401–418. DOI 10.32014/2024.2518-1467.849.

12. Kurzman P. A. Occupational Social Work // Encyclopedia of Social Work. Oxford University Press - 2013. DOI 10.1093/acrefore/9780199975839.013.268.

13. Attridge M. The current state of employee assistance programs in the United States: A research-based commentary // International Journal of Scientific and Research Publications. -2023. -Vol.13(8). - P.75-91. DOI: 10.29322/IJSRP.13.08.2023.p14010.

14. UK Employee Assistance Professionals Association. UK EAPA Research Project Phase 1 Report.2016.- https://eapassn.org/ - Дата обращения: 12.02.2026.

15. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. О травматизме, связанном с трудовой деятельностью, и профессиональных заболеваниях в Республике Казахстан за 2024 год. – Астана.- 2025. https://stat.gov.kz.- Дата обращения: 13.02.2026.

16. Samruk Research Services. Аналитический отчет по мониторингу социальной стабильности. – АО «Самрук-Казына», 2021. https://sk.kz.- Дата обращения: 13.02.2026.

17. van Oostrom, S. H., Driessen, M. T., de Vet, H. C. W., Franche, R. L., Schonstein, E., Loisel, P., van Mechelen, W., & Anema, J. R. Workplace interventions for preventing work disability//Cochrane Database of Systematic Reviews. -2009.-Vol.15(2):CD006955. DOI 10.1002/14651858.CD006955.pub2.

18. Franche, R.-L., Cullen, K., Clarke, J., Irvin, E., Sinclair, S., Frank, J., & The Institute for Work & Health (IWH) Workplace-Based RTW Intervention Literature Review Research Team. Workplace-based return-to-work interventions: A systematic review of the quantitative literature// Journal of Occupational Rehabilitation.-2005 Vol.15(4). -P.607–631. DOI 10.1007/s10926-005-8038-8.

References

1. Fishback P. V., Kantor S. E. A Prelude to the Welfare State: The Origins of Workers' Compensation. Chicago: University of Chicago Press, 2020.-196 p. ISBN 0-226-25163-2

2. Witt J. F. The Accidental Republic: Crippled Workingmen, Destitute Widows, and the Remaking of American Law. Cambridge: Harvard University Press, 2004.- 311 p. ISBN 0-674-01267-4.

3. International Labour Organization (ILO). Vocational Rehabilitation and Employment (Disabled Persons) Convention, 1983 (No.159). Geneva: ILO, 1983. URL: https://www.ilo.org Date accessed: 12.02.2026.

4. Sickness, Disability and Work breaking the barriers. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Sickness, Disability and Work: Breaking the Barriers. Paris: OECD Publishing, 2010. URL: https://www.oecd.org. - Date accessed: 12.02.2026.

5. Young A. E., Roessler R. T., Wasiak R., McPherson K. A developmental conceptualization of return to work // Journal of Occupational Rehabilitation. -2006.- Vol.15(4). - P.557–568. DOI 10.1007/s10926-005-8034-z.

6. International Labour Organization (ILO). Occupational Safety and Health Convention, 1981 (No.155). Geneva: ILO, 1981. URL: https://normlex.ilo.org.- Date accessed: 12.02.2026.

7. International Labour Organization (ILO). Promotional Framework for Occupational Safety and Health Convention, 2006 (No.187). Geneva: ILO, 2006. URL: https://www.ilo.org. - Date accessed:12 12.02.2026.

8. Abilov A. K., Mukanova D. B. Uluchshenie uslovij truda na predprijatijah Respubliki Kazahstan (sravnitel' nyj analiz attestacii uslovij truda i upravlenija professional' nymi riskami) // Teorija i praktika sovremennoj nauki. - 2017. -№ 12(30). - S.21–26. [in Russian]

9. Iztileu A., et al. Assessment and Analysis of Occupational Risks in Underground Mining of Polymetallic Ores // International Journal of GEOMATE. -2023. -Vol.25(109). - P.101-108. DOI 10.21660/2023.109.m2309.

10. Smatlayev B. M., Abikenova S., Saktaganova I. S. Legal analysis of the implementation of insurance programs in the Republic of Kazakhstan to prevent accidents at work and assess the need for investments in safe work at the expense of the insurance fund formed in the compulsory accident insurance system// BULLETIN of L.N. Gumilyov Eurasian National University. Law Series. -2023. - № 3(144). - P.42-50. DOI 10.32523/2616-6844-2023-144-3-42-50.

11. Shajahmetova L. M., Kurmanov A., Ajtimova Sh. Sovershenstvovanie ohrany truda v Respublike Kazahstan: ocenka professional' nyh riskov i strategii strahovanija ot neschastnyh sluchaev na proizvodstve // Vestnik Nacional' noj akademii nauk Respubliki Kazahstan. Serija obshhestvennyh i gumanitarnyh nauk. -2024. – T.411(5). - S.401–418. DOI 10.32014/2024.2518-1467.849. [in Russian]

12. Kurzman P. A. Occupational Social Work // Encyclopedia of Social Work. Oxford University Press, 2013. DOI 10.1093/acrefore/9780199975839.013.268

13. Attridge M. The current state of employee assistance programs in the United States: A research-based commentary // International Journal of Scientific and Research Publications. -2023. -Vol.13(8). - P.75-91. DOI 10.29322/IJSRP.13.08.2023.p14010

14. UK Employee Assistance Professionals Association. UK EAPA Research Project Phase 1 Report.2016. https://eapassn.org/ - Date accessed:12.02.2026.

15. Bjuro nacional' noj statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniju i reformam Respubliki Kazahstan. O travmatizme, svjazannom s trudovoj dejatel' nost' ju, i professional' nyh zabolevanijah v Respublike Kazahstan za 2024 god. – Astana, 2025. URL: https://stat.gov.kz.- Data obrashhenija: 13.02.2026.

16. Samruk Research Services. Analiticheskij otchet po monitoringu social' noj stabil' nosti. – AO «Samruk-Kazyna».- 2021. https://sk.kz- Data obrashhenija: 13.02.2026.

17. van Oostrom, S. H., Driessen, M. T., de Vet, H. C. W., Franche, R. L., Schonstein, E., Loisel, P., van Mechelen, W., & Anema, J. R. Workplace interventions for preventing work disability//Cochrane Database of Systematic Reviews. -2009.-Vol.15(2):CD006955. DOI 10.1002/14651858.CD006955.pub2.

18. Franche, R.-L., Cullen, K., Clarke, J., Irvin, E., Sinclair, S., Frank, J., & The Institute for Work & Health (IWH) Workplace-Based RTW Intervention Literature Review Research Team. Workplace-based return-to-work interventions: A systematic review of the quantitative literature// Journal of Occupational Rehabilitation. -2005.- Vol.15(4). -P.607–631. DOI 10.1007/s10926-005-8038-8.

Сведения об авторах

Умирзакова М.А.- кандидат экономических наук, Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан, e-mail: umir.meruert@gmail.com;

Ибраева Г.А.- магистр экономических наук, Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан, e-mail: ibraevagulajym@gmail.com;

Кулакаева И.Ж.- магистр экономических наук, Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Казахстан, e-mail: indi_kul@mail.ru;

Токмырзаева А.Г.- магистр социологических наук, Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан. E-mail: aitowa_j.b@mail.ru;

Бекхожаева А.К.- кандидат экономических наук, Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан, e-mail: Aigulbekhozha@gmail.com;

Дузельбаева Г.Б.- кандидат экономических наук, университет Нархоз, Алматы, Казахстан, e-mail:

Duzelbayeva@college-narxoz.kz.

Information about the authors

Umirzakova M. - PhD, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: umir.meruert@gmail.com;

Ibraeva G.- Master of Economic Sciences, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: ibraevagulajym@gmail.com;

Kulakayeva I.- Master of Economic Science, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: indi_kul@mail.ru;

Tokmyrzayeva A.- Master of Sociology, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: aitowa_j.b@mail.ru;

Bekkhozhayeva A.- PhD, associate professor, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan, Kyzylorda,e-mail: Aigulbekhozha@gmail.com;

Duzelbayeva G.- PhD, Narxoz University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: Duzelbayeva@college-narxoz.kz.

IRSTI 06.71.57 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1608**

TOURISM RESILIENCE AND CRISIS MANAGEMENT: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF TWO DECADES OF RESEARCH

A.A. Akhmetbayeva, V.S. Garkavenko
KIMEP University, Almaty, Kazakhstan
Correspondent-author: a.akhmetbayeva@kimep.kz

Tourism is among the economic sectors which are most exposed to external shocks, and the COVID-19 pandemic, which caused international arrivals go down by roughly 74 per cent in 2020, brought this exposure into worldwide attention. In the years since, resilience has moved from the margins of the tourism literature to something close to its center, yet there is still a lack of a broad synthesis that traces how the concept itself has developed. The present study attempts to fill that gap. Drawing on 315 peer-reviewed articles retrieved from Scopus for the period 2004 to 2025, and using the Biblioshiny interface to the R Bibliometrix package, the study examines how output has grown year by year, which journals and authors have been most visible, where the work is being done and which themes cluster together. Three methods are combined: co-word analysis, thematic mapping and an investigation of citation networks. The single most notable pattern is temporal. Annual output rose from just 2 papers in 2007 to 72 in 2024, and approximately nine out of ten articles in the sample were published from 2020 onward. Alongside this surge, a gradual repositioning of the field was observed moving away from a narrow focus on reactive crisis response and toward a broader concern with building resilience before crises occur. The findings are intended to help researchers orient themselves in a quickly expanding body of work and to offer practitioners and policymakers a direction of where the evidence currently is concentrated.

Keywords: bibliometric analysis, COVID-19, organizational resilience, destination recovery, thematic mapping, crisis.

ТУРИЗМНІҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ ЖӘНЕ ДАҒДАРЫСТЫ БАСҚАРУ: ЕКІ ОНЖЫЛДЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕРДІҢ БИБЛИОМЕТРИЯЛЫҚ ТАЛДАУЫ

А.А. Ахметбаева, В.С. Гаркавенко
КИМЭП Университеті, Алматы, Қазақстан,
e-mail: a.akhmetbayeva@kimep.kz

Туризм саласы сыртқы күйзелістерге өте сезімтал болып келеді, ал 2020 жылы халықаралық туристердің саны шамамен 74 пайызға қысқарған COVID-19 пандемиясы бұл осалдықты аса айқын түрде көрсетті. Содан бергі жылдар ішінде тұрақтылық тақырыбы тиімді туризм зерттеулерінің шетінен орталық мәселелерінің біріне айналғанымен, осы саладағы ғылыми пікірталастың қалай дамығанын жүйелі түрде жинақтап беретін кең ауқымды талдаулар әзірге жеткіліксіз. Осы жұмыс сол олқылықтың орнын толтыруға талпынады. Scopus базасынан 2004-2025 жылдар аралығында шыққан 315 рецензияланған мақала іріктеліп алынды, олар R Bibliometrix пакетінің Biblioshiny интерфейсі арқылы талданды. Жыл сайынғы жарияланымдар санының динамикасы, ең ықпалды журналдар мен авторлар, зерттеулердің географиялық таралуы және басым тақырыптар айқындалды. Талдау үш әдісті біріктіреді: бірлескен сөздерді талдау, тақырыптық картографиялау және дәйексөз желілерін зерттеу. Уақыттық үрдіс ерекше көрінеді: жарияланымдар саны 2007 жылғы 2 мақаладан 2024 жылы 72-ге дейін өсті, ал жалпы іріктеменің шамамен он мақаласының тоғызы 2020 жылдан кейін жарық көрген. Сонымен қатар саладағы назардың реактивті дағдарысқа жауап беруден дағдарыс орын алғанға дейін тұрақтылық қабілетін қалыптастыруға қарай біртіндеп ауысқаны аңғарылды. Алынған нәтижелер зерттеушілерге шапшаң кеңейіп келе жатқан әдебиеттің ішінен бағыт-бағдар табуға көмектесіп, тәжірибешілер мен саясаткерлерге бар деректердің бүгінгі жай-күйі туралы түсінік береді.

Түйін сөздер: библиометриялық талдау, COVID-19, ұйымдық тұрақтылық, дестинацияны қалпына келтіру, тақырыптық картаға түсіру, дағдарыс.

УСТОЙЧИВОСТЬ ТУРИЗМА И УПРАВЛЕНИЕ КРИЗИСОМ: БИБЛИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДВУХ ДЕСЯТИЛЕТИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ

А.А. Ахметбаева✉, В.С.. Гаркавенко

Университет КИМЭП, Алматы, Казахстан,
e-mail: a.akhmetbayeva@kimep.kz

Туризм относится к числу отраслей, наиболее подверженных внешним потрясениям, и пандемия COVID-19, при которой число международных туристских прибытий в 2020 году сократилось примерно на 74 процента, с особой остротой обнажила эту уязвимость. За последующие годы тема устойчивости из периферийной превратилась в одну из центральных в туристских исследованиях, однако широкого синтеза, который прослеживал бы развитие самой научной дискуссии, по-прежнему не хватает. Настоящая работа призвана восполнить этот пробел. На основе 315 рецензируемых статей, извлечённых из Scopus за период с 2004 по 2025 год, и с использованием интерфейса Biblioshiny к пакету R Bibliometrix рассматриваются динамика публикаций по годам, круг наиболее заметных журналов и авторов, география исследований и структура тематических кластеров. В работе сочетаются три метода: анализ совместной встречаемости слов, тематическое картирование и анализ сетей цитирования. Наиболее выраженным оказался временной рисунок: ежегодное число статей выросло с 2 в 2007 году до 72 в 2024 году, и почти девять из десяти работ в выборке опубликованы начиная с 2020 года. Наряду с этим наблюдается постепенное смещение акцентов в области, от реактивного реагирования на кризис к предварительному формированию устойчивости. Полученные результаты призваны помочь исследователям ориентироваться в быстро растущем массиве литературы, а практикам и лицам, принимающим решения, получить представление о текущем состоянии доказательной базы.

Ключевые слова: библиометрический анализ, COVID-19, организационная устойчивость, восстановление дестинаций, тематическое картирование, кризис

Introduction. Tourism contributes close to a tenth of global GDP and supports the livelihoods of more than 330 million people worldwide, which is part of what makes it simultaneously one of the most economically consequential and one of the most fragile sectors of the modern economy. The sources of that fragility are familiar enough: natural disasters, disease outbreaks, terrorism, political instability, currency shocks; but COVID-19 was different in scale. International arrivals fell by about 74 per cent in 2020, and the UNWTO estimated tourism revenue losses at roughly $1.3 trillion [1]. Few industries absorbed a blow of that magnitude over so short a period.

The idea of resilience that scholars now apply to tourism did not originate in the field. It was borrowed first from ecology and engineering and as it travelled it acquired new layers of meaning. In tourism contexts it is used to describe the resilience of individual firms, of destinations understood as communities, of workers facing burnout and displacement, and of entire tourism systems as connected systems. This breadth is partly a virtue and partly a problem: the literature has grown large and varied very quickly, and there has been relatively little effort to step back and map it.

Earlier reviews have tended to be either tightly focused on a single crisis type or limited to a narrower slice of time. Few of them capture what has happened since 2020, and fewer still trace the intellectual structure of the field across its full contemporary span. A synthesis that fills this gap matters for several practical reasons. It allows researchers new to the area to locate themselves; it helps identify clusters of work that are mature and clusters that are still thin; it

surfaces methodological and geographic gaps; and it provides a basis for evidence-informed policy and curriculum decisions.

Research objective. This study sets out to produce a comprehensive bibliometric analysis of tourism resilience and crisis management research, organized around five tasks: tracing the temporal pattern of publication output; identifying the journals, articles and authors that have been most influential; describing the geographic distribution of the work; examining intellectual structure through co-word and citation network analysis; and pointing to emerging themes and directions likely to shape the next phase of research.

Scientific novelty. To the authors' best knowledge, this is the first bibliometric study to cover tourism resilience and crisis management literature across the full 2004-2025-time period, explicitly bridging the pre- and post-pandemic eras. Earlier reviews have mostly been confined either to particular crisis types or to shorter intervals that do not include recent developments. Beyond the descriptive mapping, the study uses thematic evolution analysis and strategic diagram positioning to show how the field's center of gravity has shifted from reactive crisis response toward an emphasis on proactive capability-based resilience.

The concept of resilience itself has a long intellectual history. From its early use in materials science and ecology, it has moved through equilibrium-based formulations toward more dynamic and adaptive framing. In contemporary tourism scholarship, three versions of resilience are typically distinguished: engineering resilience which is concerned with the speed of return to a pre-disturbance equilibrium; ecological resilience being focused on the magnitude of disturbance a system can absorb before it reorganizes; and adaptive or evolutionary resilience which treats crisis as a trigger for transformation and learning rather than simply a threat to stability.

Empirical work on tourism resilience operates on a different scale. At a macro level, attention has centered on how whole destinations absorb and recover from shocks, and on the governance arrangements that make collective action possible [2]. At the meso level, the focus has been on firms and their strategic flexibility, dynamic capabilities, and organizational learning as sources of durability in turbulent environments [3]. At the micro level, researchers have looked at the people who are involved in tourism work: how they cope with the stress and uncertainty that crises generate, and what protects their wellbeing [4].

Different crisis types have attracted different amounts of attention. Natural disasters are the most heavily studied category [5]: the 2004 Indian Ocean tsunami, the 2011 Tōhoku earthquake, and recurring Caribbean hurricane seasons have all generated substantial case-based literature on preparedness and recovery. Climate change, by contrast, functions less as a discrete crisis than as a slowly unfolding meta-crisis that is reshaping risk itself across destinations worldwide [6]. Security-related crises such as terrorism, civil unrest, and sudden political upheavals sit somewhat apart from both. They rarely come with the defined recovery timelines associated with natural disasters and their effects on risk perception and travel intent can remain for years.

The COVID-19 pandemic has dominated research published since 2020 [7]. Earlier outbreaks such as SARS in 2003, H1N1 in 2009, MERS in 2012, and Ebola in 2014, had already offered useful templates for such crises [8]. What sets health crises apart from acute disasters is a combination of features: they play out over longer periods, they are often global rather than regional, they change travel behavior by shifting perceived risk rather than destroying physical infrastructure, and their psychological aftermath can outlast their epidemiological one.

Other streams of work cut across these crisis categories. Public sector actors are central to destination resilience through planning, coordination, infrastructure, and recovery support. At the firm level, large operators tend to draw on scale economies, while smaller businesses rely more heavily on flexibility and local relationships. Tourist behavior during and after a crisis, particularly patterns of risk perception and travel avoidance, has been shown to shape outcomes for

destinations [9]. Economic diversification reduces the cost of tourism dependency while digital technologies have become increasingly important assistants of continuity, from remote work to contactless service to online marketing.

A particularly active frontier is the convergence of sustainability and resilience [10]. The pause in overtourism during the pandemic sharpened interest in whether recovery could be used to steer tourism onto a more sustainable path rather than simply returning it to prior growth trajectories [11]. Emerging themes include compound and cascading crises, mental health and wellbeing in tourism work, questions of justice and equity in recovery, during growth and post-growth perspectives [12], and the integration of indigenous and local knowledge into resilience practice. Persistent gaps remain, however, most notably around longitudinal tracking, systematic comparison across crisis types, analysis of failures as well as successes, the informal tourism economy and the implementation side of resilience policy [8].

Materials and methods. The study takes a quantitative bibliometric approach to the tourism resilience literature. Bibliometric analysis is by now a well-established way of examining large bodies of scientific work: it supports trend identification, it reveals collaborative and citation structures, and it lends itself to replicable workflows [13]. As the primary data source authors selected Scopus, both for its breadth as it indexes more than 27 thousand peer-reviewed journals, and for its compatibility with the bibliometric tools used in the study [14].

The search query was applied to titles, abstracts, and keywords and read: TITLE-ABS-KEY (“crisis”) AND TITLE-ABS-KEY (“resilience”) AND TITLE-ABS-KEY (“tourism”). Inclusion was restricted to peer-reviewed journal articles in English published between 2004 and 2025 and substantively concerned with tourism resilience or crisis management. Conference proceedings, book chapters, non-English items, and records with incomplete metadata were excluded. The initial search returned 324 items: after checks for duplicate items and quality filtering, 315 articles entered the final dataset.

Analysis was conducted with the Bibliometrix package in R [15], accessed through the Biblioshiny web interface. The workflow proceeded through several stages: import and validation of the Scopus exported data; preprocessing, including author-name disambiguation, journal-name standardization, and keyword harmonization; descriptive and performance analysis of productivity and impact; and science mapping, specifically co-word analysis, thematic mapping, and citation network construction.

Results and discussion. The 315 articles in the dataset display a striking temporal pattern. For most of the study window the field was small: only 33 articles - around one in ten - were published during the sixteen-year period from 2004 to 2019. Growth then became exponential. Publication counts rose sharply from 2020 and reached 72 articles in 2024. Through November 2025 an additional 64 articles had appeared. Taken together, the COVID and post-COVID years (2020-2026) accounted for 282 articles, or 89.5 per cent of the corpus which represents roughly an 8.5-fold increase over the 2019 baseline. Figure 1 visualizes this trajectory.

It is tempting to read this surge as a simple reaction to the pandemic, but the shape of the curve suggests something more than a short-term spike. The compound annual growth rate for 2020-2024 came to 37.8 per cent which is sustained, not transient. For context, typical academic responses to major crisis events tend to produce a surge followed by a return toward the pre-crisis level within two to three years. That was not the case for the current study. A reasonable interpretation is that COVID-19 did not merely generate work on tourism crisis management; it pushed resilience from a specialized concern to a mainstream research priority and the field has not yet reverted.

Three features of the pandemic help explain the unusual durability of the effect. Its reach was global rather than regional: every destination was affected at once and the research demand was therefore widespread rather than concentrated. Next, the crisis was protracted. Its duration across 2020-2023 gave scholars something acute crises rarely provide: an extended observation window in which

adaptation, recovery and learning could actually be studied longitudinally. Finally, and perhaps most consequentially, the pandemic disturbed taken-for-granted assumptions about tourism futures and a substantial share of the following literature has been spent rethinking growth paradigms, sustainability relationships and the underlying vulnerabilities of tourism systems.

Turning from volume to structure: the 315 articles are distributed across 142 different journals, which points to broad disciplinary interest rather than concentration in a single outlet. That said, concentration is not absent: the top 15 journals together account for 43.3 per cent of all articles. Citation counts tell a similar story. The corpus has accumulated 15362 citations, an average of 48.77 per article, but the distribution is highly skewed: the median is just 8, and a single article contributes 22.3 per cent of all citations. Table 1 summarizes the most visible sources and the most cited articles.

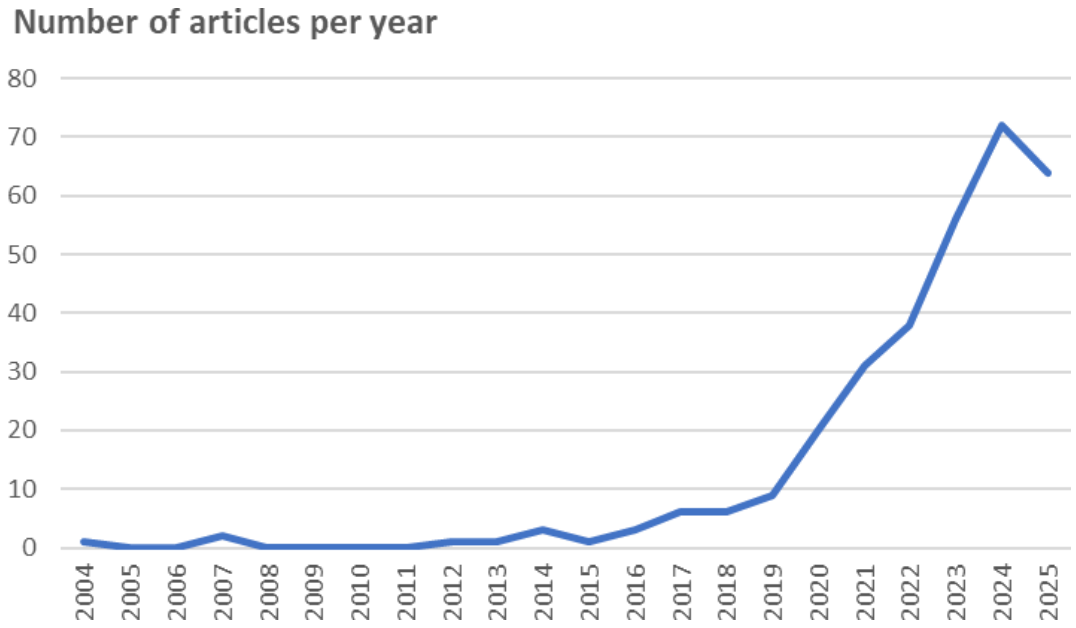


Fig.1 - Annual Scientific Production of Tourism Resilience Research
(compiled by authors)

The mix of academic outlets is worth exploring. The presence of Tourism Management and Annals of Tourism Research among the leading venues indicates that resilience has been absorbed into the field's general-purpose journals rather than being confined only to specialized ones. The appearance of the African Journal of Hospitality, Tourism and Leisure near the top of the list is notable for a different reason: it hints at growing geographic diversity and a widening focus on developing-country contexts. It is also worth observing that 5 of the 10 most cited articles were published in 2020 itself meaning these are the papers that set many of the conceptual coordinates the subsequent literature has used.

Co-word network analysis (Figure 2) identifies three reasonably distinct thematic clusters. The first, which was labelled 'COVID-19 Response', groups pandemic impacts, lockdowns, government interventions, and the immediate crisis management toolkit. The second, 'Organizational Resilience', clusters such concepts as business continuity, dynamic capabilities, entrepreneurial orientation and organizational adaptation. The third, 'Destination and Community Resilience', brings together destination management, stakeholder collaboration, and community-based approaches. The clusters overlap at the edges as one would expect in a field that still treats resilience as a cross-cutting construct but the boundaries are clear enough to be analytically useful.

Table 1 - Most Relevant Sources and Most Cited Articles

Most Relevant Sources	N	Most Cited Articles	Cit.
Current Issues in Tourism	19	Gössling et al. (2020)	3432
Tourism Management	16	Hall et al. (2020a)	1671
Tourism Management Perspectives	13	Hall et al. (2020b)	934
African Journal of Hospitality, Tourism and Leisure	12	Ritchie, Jiang (2019)	648
Worldwide Hospitality and Tourism Themes	12	Higgins-Desbiolles (2020)	475
Journal of Sustainable Tourism	10	Dahles, Susilowati (2015)	367
Annals of Tourism Research	8	Hall et al. (2014)	334
International Journal of Contemporary Hospitality Management	8	Biggs et al. (2012)	330
Journal of Travel Research	8	Prayag (2018)	275
Journal of Hospitality and Tourism Management	7	Baum, Hai (2020)	258

Note: N = number of articles; Cit. = citations. Compiled by authors.

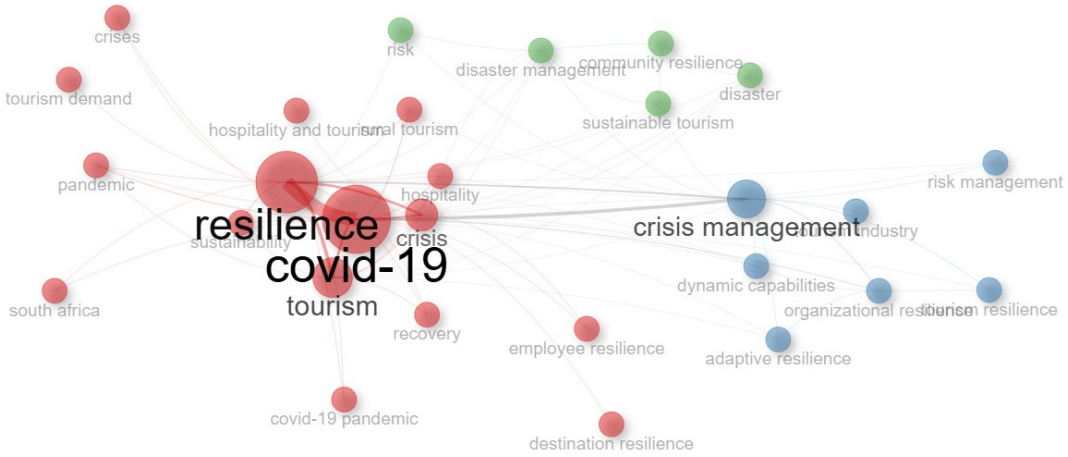


Fig.2 - Co-occurrence Network of Author Keywords
(compiled by authors)

A country-level view based on author affiliations offers one more angle on the field's structure. Long-established tourism research economies such as the United States, Australia, the United Kingdom remain well represented, which reflects their developed research infrastructure and funding base. At the same time, the prominence of several Asian countries (China in first place, followed by India and Malaysia) signals both rising scholarly capacity and the growing relevance of resilience concerns to high-growth tourism markets. Table 2 sets out the distribution.

A complementary perspective on the field is provided by examining the authors who have been most active in it. Across the 315 articles, productivity is highly dispersed: only 26 authors

have contributed two or more articles to the sample, and the most productive contributors account for a single-digit share of the corpus each. This pattern is consistent with the long-tail distribution typical of young, rapidly expanding research areas, where no single author dominates and the literature is shaped instead by many moderately prolific voices. Table 3 presents the authors with four or more articles in the dataset, alongside both whole-count productivity and fractional counts that adjust for co-authorship.

Table 2 - Geographic Distribution of Publications

Country	N	Country	N	Country	N
China	28	New Zealand	15	South Africa	11
USA	22	India	14	Portugal	9
Australia	20	Spain	12		
United Kingdom	17	Malaysia	11		

Note: N = number of publications. Compiled by authors.

Table 3 - Most Productive Authors in Tourism Resilience Research (≥4 articles)

Author	Articles (N)
Jiang, Yawei	7
Prayag, Girish	7
Hall, C. Michael	6
Ritchie, Brent W.	5
Yang, Eunjung	5
De Lacy, Terry	4
Gamage, Ancy	4
Lekgau, Refiloe Julia	4
Liu-Lastres, Bingjie	4
Pyke, Joanne	4
Tichaawa, Tembi Maloney	4

Note: Compiled by authors using Biblioshiny output.

It is worth noting that several of the names appearing at the top of Table 3 overlap with authors of the most cited articles reported earlier in Table 1. Hall, Ritchie, and Prayag are visible in both performance dimensions which possibly indicates that the field's most productive contributors are also among those shaping its conceptual center of gravity. At the same time, the appearance of authors affiliated with research groups in different regions reflects a broader geographic diversification of authorship that mirrors the country-level distribution reported in Table 2. Taken together, the productivity and collaboration evidence suggests a field that is simultaneously consolidating around a small group of recurrent contributors and expanding outward through regionally based research programs: a combination that plausibly explains the rapid but multi-centered

growth observed in the temporal analysis.

Figure 3 places current themes on a strategic diagram defined by centrality (how well a theme is connected to others) and density (how internally developed it is). Motor themes which are high on both axes include the cluster around COVID-19, resilience and tourism, which is the dominant and most fully developed area of work, and a second grouping around tourism economics, tourism markets and China. Basic themes, which are central to the field but not yet densely developed, include tourism management, tourist destination, and tourism development; these are important but their internal literature is comparatively thin. Niche themes represented by high density, low centrality, include ecotourism, disaster, and sustainable tourism; this is specialized territory with limited linkage to the rest of the field. Emerging themes, which sit low on both axes, include perceived risk, psychological resilience, and coping strategies on one side, and crisis management and organizational resilience on the other. These emerging areas are, in authors' reading, among the most promising for future work.

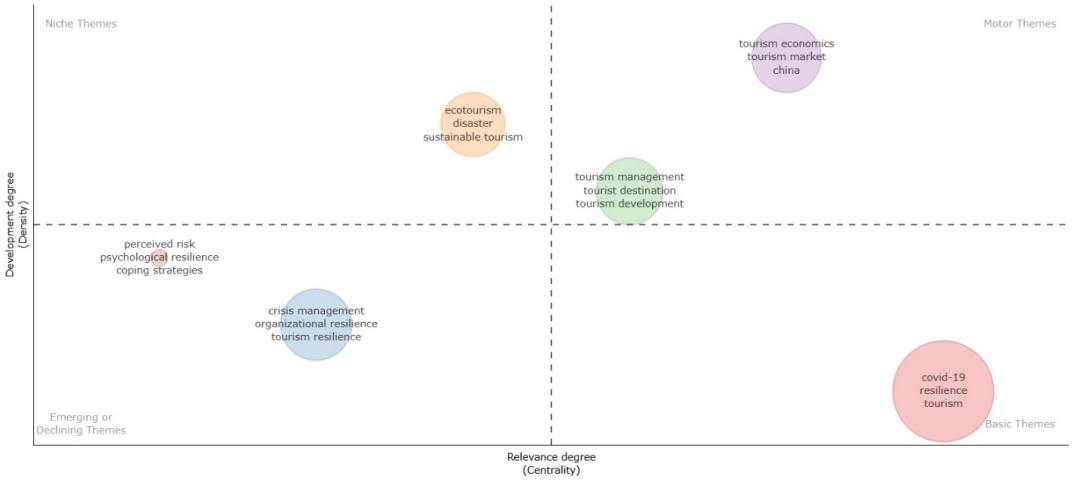


Fig.3 - Thematic Map of Tourism Resilience Research
(compiled by authors)

Table 4 - Temporal Distribution of Leading Terms in the Corpus

Term	Frequency	Year (Q1)	Year (Median)	Year (Q3)
disaster	11	2018	2021	2022
sustainable tourism	10	2019	2021	2023
resilience	83	2021	2022	2024
tourism	51	2021	2022	2024
destination resilience	11	2020	2022	2024
covid-19	99	2022	2023	2024
crisis management	43	2021	2023	2024
crisis	35	2021	2023	2024
tourism resilience	14	2021	2024	2025
sustainability	15	2022	2025	2025

Note: Q1, Median, and Q3 refer to the 25th, 50th, and 75th percentile years of each term's appearance in the 315-article dataset. Compiled by authors using Biblioshiny trend-topic output.

A few interpretive points follow from the thematic map. It provides practical orientation: motor themes indicate mature areas where high-impact work is possible but competition is intense; basic themes flag opportunities to consolidate under-developed but centrally located topics; niche themes reward specialist expertise but travel less widely; and emerging themes represent frontier territory. The appearance of psychological resilience and coping strategies as emerging topics despite their obvious importance after 2020 is, in authors' view, one of the clearer signals that the field has not yet caught up with its own empirical reality.

The cross-sectional picture provided by the co-word network and the strategic diagram can be complemented by a longitudinal view that traces when particular terms gained and lost prominence in the literature. Table 4 reports, for the ten most frequent author-supplied terms in the corpus, the first-quartile, median, and third-quartile years of their appearance in the sample. The median year serves as a useful indicator of when each term was at the center of scholarly attention.

Read from top to bottom, Table 4 identifies a coherent narrative arc. In the earliest period captured by the data, the literature was organized around the language of discrete events: "disaster" (median year 2018) served as the central construct, reflecting the field's early orientation toward natural-hazard case studies noted in the introduction. A second generation of terms, with median years in 2021 and 2022, is dominated by "resilience" (83 occurrences) and "tourism" (51), accompanied by "destination resilience", "sustainable tourism", and "tourism resilience" as the vocabulary broadened. The COVID-related cluster ("covid-19", "crisis management", "crisis") reached its median year in 2023, consistent with the exponential publication surge of 2020-2024 documented earlier. Most instructive is the final group: "tourism resilience" and "sustainability" reach their median year in 2024 and 2025 respectively, and both have third-quartile values of 2025 meaning that half of all occurrences are concentrated in the most recent period of the sample.

Two observations follow. The trajectory supports the interpretation offered in the scientific-novelty statement that the field has been repositioning itself from reactive event-based framing (disaster, crisis) toward a more durable capability-based orientation (tourism resilience, sustainability). The temporal displacement between "crisis management" (median 2023) and "tourism resilience" (median 2024) is small but directionally consistent: researchers are beginning to name their object of inquiry in resilience terms rather than in crisis terms, even when the underlying empirical referent is similar. Notably, the recency of "sustainability" whose median and third-quartile years both sit in 2025, underlines the convergence of sustainability and resilience identified earlier as an active frontier. Rather than the pandemic pushing sustainability concerns to the margins of the literature, the data suggest that the recovery period has revived the term and increasingly coupled it with resilience thinking. Whether this coupling produces a genuinely integrated research program or two loosely connected streams will be an important question for the next research phase of the field.

One final observation deserves foregrounding, because it complicates the otherwise positive picture that these patterns paint. The scale of COVID-19's presence in the literature has had a crowding-out effect on other crisis types. Climate change, terrorism and economic crises are all underrepresented relative to their importance, and there is a real risk that insights drawn almost exclusively from a pandemic context will be generalized to crises that behave quite differently. A deliberate diversification of crisis foci, while retaining what has been learned from COVID-19 research, seems to authors a priority for the next phase of work in the area.

Conclusion. The bibliometric analysis presented here contributes to tourism resilience scholarship in three connected ways. The first contribution is descriptive: authors have documented the field's unusually rapid expansion and offered an account of why the COVID-19 shock behaved more like

a paradigm shift than a temporary disturbance to normal publishing patterns. The second is structural: through the combination of co-word clustering, thematic mapping, and citation analysis, authors were able to trace the main conceptual groupings through which the literature currently organizes itself. The third is diagnostic: a number of genuine gaps have emerged, most importantly around longitudinal research across complete crisis cycles, systematic comparison across crisis types and contexts, and thorough attention to the resilience strategies that have not worked.

The practical implications vary by audience. For researchers, the map of the field provides a way to situate new work and to identify under-populated spaces worth occupying. For tourism practitioners, the clustering of resilience determinants offers a reasonably concrete set of levers: covering business continuity, destination governance, and the integration of digital tools, on which management attention can be focused. For policymakers, the evidence points toward a small number of priorities: building institutional capacity for anticipation rather than reaction, developing targeted financial support mechanisms for small operators, and investing in collaborative governance frameworks that span public and private actors.

Several limitations should be stated plainly. Authors drew exclusively on Scopus, which means that research published in non-indexed journals, in books, in conference proceedings, or in grey literature is absent from the analysis. The English-language restriction almost certainly underrepresents research produced in non-Anglophone regions, which matters given the present interest in geographic diversity. Bibliometric methods also rely on author-supplied keywords, and these do not always fully capture article content. Finally, the data represent a snapshot of a research landscape that is still moving with some of the emerging themes identified here could well have become motor themes by the time this article is read.

Several priorities follow from the gaps authors have identified. The longitudinal designs that track resilience trajectories across entire crisis cycles ranging from the pre-crisis period through disruption, response, recovery and learning would substantially strengthen the evidence base. Then, comparative research that deliberately varies crisis type, destination context, governance model, and cultural setting would help establish which findings generalize and which do not. Third, more attention to failure such as to implementation barriers, resource constraints, coordination breakdowns, and unintended consequences, would address what is currently a notable asymmetry in the literature, which has favored success stories to an extent that limits its usefulness to practice.

One additional further implication emerges from the authorship and temporal patterns documented above. The combination of a dispersed author base, a small group of high-productivity contributors concentrated around established crisis and resilience scholars and a rapid semantic shift from crisis- to resilience-centered terminology points that the field is in the midst of consolidation rather than fragmentation. For early-career researchers and for research groups in under-represented regions, this represents an unusually open moment: the concept is still taking shape, the geographic base is widening, and the most recent terms in the corpus: tourism resilience and sustainability foremost among them, remain sufficiently under-populated leading to substantive possible future contributions.

References

1. UNWTO.2020: Worst year in tourism history with 1 billion fewer international arrivals. United Nations World Tourism Organization. – 2021. - URL: https://www.unwto.org - Date of access: 03.10.2025.

2. Calgaro E., Lloyd K., Dominey-Howes D. From vulnerability to transformation: A framework for assessing the vulnerability and resilience of tourism destinations // Journal of Sustainable Tourism. - 2014. –Vol.22(3). -P.341-360. DOI 10.1080/09669582.2013.826229

3. Orchiston C., Prayag G., Brown C. Organizational resilience in the tourism sector // Annals of Tourism Research. - 2016. - Vol.56(C)56. - P.145-148. DOI 10.1016/j.annals.2015.11.002.

4. Prayag G., Spector S., Orchiston C., Chowdhury M. Psychological resilience, organizational resilience and life satisfaction in tourism firms: Insights from the Canterbury earthquakes // Current Issues in Tourism. -2020. -Vol.23(10). -P.1216-1233. DOI 10.1080/13683500.2019.1607832

5. Biggs D., Hall C.M., Stoeckl N. The resilience of formal and informal tourism enterprises to disasters: Reef tourism in Phuket, Thailand // Journal of Sustainable Tourism. -2012. -Vol.20(5). - P.645-665. DOI 10.1080/09669582.2011.630080.

6. Rosselló J., Becken S., Santana-Gallego M. The effects of natural disasters on international tourism: A global analysis//Tourism Management. -2020. - Vol.79:104080. DOI 10.1016/j.tourman.2020.104080.

7. Hall C.M., Scott D., Gössling S. Pandemics, transformations and tourism: Be careful what you wish for // Tourism Geographies. -2020.-Vol.22(3). - P.577-598. DOI 10.1080/14616688.2020.1759131.

8. Ritchie B.W., Jiang Y. A review of research on tourism risk, crisis and disaster management: Launching the Annals of Tourism Research curated collection on tourism risk, crisis and disaster management //Annals of Tourism Research. -2019.-Vol.79:102812. DOI 10.1016/j.annals.2019.102812.

9. Zheng D., Luo Q., Ritchie B.W. Afraid to travel after COVID-19? Self-protection, coping and resilience against pandemic ‘travel fear’// Tourism Management. -2021. –Vol.83:104261. DOI 10.1016/j.tourman.2020.104261.

10. Hall C.M. Constructing sustainable tourism development: The 2030 agenda and the managerial ecology of sustainable tourism // Journal of Sustainable Tourism. -2019. -Vol.27(7). - P.1044- 1060. DOI 10.1080/09669582.2018.1560456.

11. Brouder P. Reset redux: Possible evolutionary pathways towards the transformation of tourism in a COVID-19 world//Tourism Geographies. -2020.-Vol.22(3). - P. 484-490. DOI 10.1080/14616688.2020.1760928.

12. Fletcher R., Murray Mas I., Blanco-Romero A., Blázquez-Salom M. Tourism and degrowth: An emerging agenda for research and praxis // Journal of Sustainable Tourism. -2019.-Vol.27(12) - P.1745–1763. DOI 10.1080/09669582.2019.1679822.

13. Donthu N., Kumar S., Mukherjee D., Pandey N., Lim W.M. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines // Journal of Business Research. -2021. -Vol.133. - P.285- 296. DOI 10.1016/j.jbusres.2021.04.070.

14. Baas J., Schotten M., Plume A., Côté G., Karimi R. Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies // Quantitative Science Studies. -2020. -Vol.1(1). -P.377-386. DOI 10.1162/qss_a_00019.

15. Aria M., Cuccurullo C. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis //Journal of Informetrics. -2017.-Vol.11(4). -P.959-975. DOI 10.1016/j.joi.2017.08.007.

Information about the authors

Akhmetbayeva A. - PhD student, KIMEP University, Almaty, Kazakhstan,e-mail:a.akhmetbayeva@kimep.kz;

Garkavenko V.r -PhD, associate professor, KIMEP University, Almaty, Kazakhstan,e-mail: gvlad@kimep.kz.

Сведения об авторах

Ахметбаева А. -PhD докторант, Университет КИМЭП, Алматы, Казахстан,e-mail: a.akhmetbayeva@kimep.kz:

Гаркавенко В. -PhD, доцент, Университет КИМЭП, Алматы, Казахстан,e-mail: gvlad@kimep.kz.

МРНТИ: 06.71.07; 68.35.03 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1535**

ТЕНДЕНЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕРНОВЫХ И БОБОВЫХ КУЛЬТУР В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

[1]Г.Е. Жолдоякова✉, [1]Г.М. Мукашева, [1]К.М. Жакишева [1]Д.Т. Жуманова, [2]М.Е. Беспаев

[1]Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, Астана, Казахстан,
[2]Университет «Туран-Астана», Астана, Казахстан

✉ *Корреспондент-автор: Zhge17@mail.ru*

В статье представлен комплексный анализ зернового сектора Республики Казахстан в период 2021–2025 гг., направленный на верификацию перехода от экстенсивной к интенсивной модели развития. Исследование доказывает завершение цикла территориальной экспансии: итоговый темп роста посевных площадей составил 99,9%. Несмотря на выраженную природно-климатическую детерминацию и кризисный спад урожайности в 2023 году (до 10,3 ц/га), отрасль продемонстрировала высокую адаптивность. Ключевым результатом стала фиксация рекордного валового сбора в 2025 году (25,9 млн тонн), достигнутого на фоне сокращения площадей относительно пика 2023 года. Был выявлен качественный прогресс: рост урожайности пшеницы (169,9% к уровню 2021 г.) и активная диверсификация в пользу масличных культур (темп роста 129,8%) и сахарной свеклы (122,3%). При этом отмечено снижение показателей по менее эффективным позициям, таким как кукуруза (88,6% от базиса). Кроме того, с целью оценки перспектив развития производства был рассчитан краткосрочный прогноз валового сбора зерновых и бобовых культур в Республике Казахстан на 2026–2027 годы. Сделан вывод, что выявленный «качественный переход» подтверждает трансформацию аграрной архитектуры страны в сторону высокотехнологичного уклада, что является фундаментом устойчивого развития экономики. Данная аннотация задает вектор для детального определения методологических границ работы.

Ключевые слова: зерновые культуры, зернобобовые культуры, урожайность, валовой сбор, посевная площадь, экстенсивное развитие, интенсивное развитие, устойчивое развитие.

PRODUCTION TRENDS OF GRAIN AND PULSE CROPS IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

[1]G.E. Zholdoyakova✉, [1]G.M. Mukasheva, [1]K.M. Zhakisheva, [1]D.T. Zhumanova, [2]M.E. Bespayev

[1]S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan,
[2]Turan-Astana University, Astana, Kazakhstan,
e-mail: Zhge17@mail.ru

The article presents a comprehensive analysis of the grain sector of the Republic of Kazakhstan in the period 2021-2025, aimed at verifying the transition from an extensive to an intensive development model. The study proves the completion of the cycle of territorial expansion: the final growth rate of acreage was 99.9%. Despite the pronounced natural and climatic determination and the crisis decline in yields in 2023 (up to 10.3 c/ha), the industry has demonstrated high adaptability. The key result was the record gross harvest in 2025 (25.9 million tons), achieved against the background of a reduction in acreage relative to the peak in 2023. Qualitative progress has been identified: an increase in wheat yields (169.9% compared to the level of 2021) and active diversification in favor of oilseeds (growth rate of 129.8%) and sugar beet (122.3%). At the same time, there was a decrease in indicators for less effective items, such as corn (88.6% of the base). In addition, in order to assess the prospects for production development, a short-term forecast of the gross harvest of grain and legume crops in the Republic of Kazakhstan for 2026–2027 was calculated. It is concluded that the identified ”qualitative transition” confirms the transformation of the country’ s agricultural architecture towards a high-tech way of life, which is the foundation for sustainable economic development. This abstract sets a vector for a detailed definition of the methodological boundaries of the work.

Keywords: grain crops, grain legumes, yield, gross harvest, acreage, extensive development, intensive development, sustainable development.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДА ДӘНДІ ЖӘНЕ БҰРШАҚ ДАҚЫЛДАРЫН ӨНДІРУ ҮДЕРІСТЕРІ

[1]Г.Е. Жолдоякова✉, [1]Г.М. Мукашева, [1]К.М. Жакишева, [1]Д.Т. Жуманова, [2]М.Е. Беспаев

[1]С. Сейфуллин атындағы Қазақагротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан,
[2]"Тұран-Астана" Университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail: Zhge17@mail.ru

Мақалада экстенсивтіден қарқынды даму моделіне көшуді верификациялауға бағытталған 2021-2025 жылдар кезеңінде Қазақстан Республикасының астық секторына кешенді талдау ұсынылған. Зерттеу аумақтық кеңею циклінің аяқталғанын дәлелдейді: егіс алқаптарының өсуінің қорытынды қарқыны 99,9% құрады.2023 жылы Айқын табиғи-климаттық детерминацияға және өнімділіктің дағдарыстық төмендеуіне қарамастан (10,3 ц/га дейін), сала жоғары бейімделгіштігін көрсетті. Негізгі нәтиже 2023 жылдың шыңына қатысты аудандардың қысқаруы аясында қол жеткізілген 2025 жылғы рекордтық жалпы алымды (25,9 миллион тонна) бекіту болды. Сапалы прогресс анықталды: бидай өнімділігінің өсуі (2021 жылғы деңгейге 169,9%) және майлы дақылдардың (өсу қарқыны 129,8%) және қант қызылшасының (122,3%) пайдасына белсенді әртараптандыру. Бұл ретте жүгері сияқты тиімділігі төмен позициялар бойынша көрсеткіштердің төмендеуі байқалды (базистің 88,6%). Бұдан басқа, өндірісті дамыту перспективаларын бағалау мақсатында Қазақстан Республикасында дәнді және бұршақ дақылдарын жалпы жинаудың 2026-2027 жылдарға арналған қысқа мерзімді болжамы есептелді. Анықталған "сапалы көшу" экономиканың тұрақты дамуының негізі болып табылатын елдің аграрлық архитектурасының жоғары технологиялық құрылымға өзгеруін растайды деген қорытындыға келді. Бұл аннотация жұмыстың әдіснамалық шекараларын егжей-тегжейлі анықтау үшін векторды белгілейді.

Түйін сөздер: дәнді дақылдар, дәнді-бұршақты дақылдар, өнімділік, жалпы жинау, егіс алқабы, экстенсивті даму, қарқынды даму, тұрақты даму.

Введение. Зерновой сектор представляет собой комплексную отрасль, охватывающий полный цикл движения зерна и выступает в качестве фундаментальной составляющей аграрной экономики Республики Казахстан, определяя не только экспортную специализацию государства, но и параметры национальной продовольственной безопасности. Основными составляющими зернового сектора является производство зерновых и зернобобовых культур. Стратегическая значимость отрасли обусловлена ее доминирующей ролью в структуре землепользования и вкладом в формирование валового внутреннего продукта сельского хозяйства.

Настоящее исследование направлено на комплексный анализ динамики посевных площадей, векторов структурной трансформации и показателей эффективности производства зерновых и зернобобовых культур в пятилетней ретроспективе (2021–2025 гг.). Ключевым исследовательским вопросом является верификация характера развития отрасли: переход от экстенсивных моделей освоения земельного фонда к интенсивным технологиям, базирующимся на росте продуктивности.

Объектом исследования выступает зерновой сектор и земельный фонд Республики Казахстан в их системном единстве и макроэкономической взаимозависимости.

Предметом исследования является структурно-динамические характеристики производства, векторы трансформации посевных площадей, а также индикаторы технологической интенсификации и эффективности в период 2021–2025 гг.

Цель исследования - заключается в проведении комплексного анализа функционирования

зернового и зернобобового секторов для верификации характера их трансформации от экстенсивного освоения ресурсов к модели, базирующейся на интенсивных технологиях и рыночно ориентированной диверсификации.

Задачами исследования являются:

- проанализировать динамику использования земельного фонда в 2021–2025 гг.;

- оценить структурные сдвиги в растениеводстве;

- исследовать региональную специализацию производства сельскохозяйственных культур;

- провести сравнительный анализ урожайности и валовых сборов основных сельскохозяйственных культур;

- исследовать существующие проблемы отрасли и рассмотреть перспективы развитияв этой отрасли.

- рассчитать краткосрочный прогноз валового сбора зерновых и бобовых культур в Республике Казахстан на 2026–2027 годы.

Научная новизна исследования. На основе комплексного анализа пятилетнего цикла (2021-2025 гг.) научно обосновано исчерпание экстенсивного пути развития зернового сектора Казахстана и верифицирован переход к модели интенсивного воспроизводства. Впервые доказано, что в условиях жестких климатических и рыночных шоков устойчивость системы обеспечивается не расширением земельного фонда (темп роста 99,9%), а качественным скачком продуктивности (рост урожайности пшеницы на 69,9%). Выявлена закономерность «структурной зрелости» АПК, характеризующаяся завершением формирования территориально-отраслевых кластеров и осознанной диверсификацией в пользу масличных (темп роста 129,8%) и технических культур. Обосновано, что достигнутый рекорд валового сбора (25,9 млн тонн) является результатом синергии технологической интенсификации и глубокой региональной специализации.

В современной научной литературе производство зерновых и зернобобовых культур рассматривается как одна из базовых и стратегически значимых отраслей агропромышленного комплекса, определяющая продовольственную безопасность страны. Так, в научных трудах Сидоренко О.В., Матюхин С.И., Гришина С.Ю., Алексеева Е.В., Гусейнов Ш.Э., повышение устойчивости и эффективности развития зернового хозяйства рассматриваются как одно из приоритетных задач, стоящих перед государством, что обосновывается её системообразующей основой всей агропромышленной системы, а также доминирующим фактором обеспечения продовольственной безопасности в мире [1,2]. Джолдасбаева Г.К., Есайдар У.С., Кирдасинова К.А в своих исследованиях отмечают снижение рентабельности производства зерна в Республике Казахстан и развитие отрасли в основном за счет экстенсивных методов развития отрасли, что существенно влияет обеспечение продовольственной безопасности страны [3]. Мизанбекова С.К., Калыкова Б.Б., Айтмуханбетова Д.А. изучая влияние различных факторов на стабильность торговли зерновыми культурами на внешнем и внутреннем рынке Республики Казахстан отмечают необходимость государственного влияния на развитие зерновой отрасли [4-6].

Одним из наиболее актуальных направлений современных исследований является влияние изменения климата на производство зерновых и бобовых культур. В статье «Влияние изменения климата на экономическую эффективность и перспективы на будущее производство зернобобовых культур в Казахстане» авторы Болатова Ж, Булхаирова Ж. подчеркивают, что засушливость климата, дефицит влаги и рост температур становятся серьезными ограничениями для устойчивого развития растениеводства [7]. В связи с этим авторы отмечают, что особое значение приобретают адаптивные агротехнологии, устойчивые сорта культур и рациональное использование земельных ресурсов [7].

Современная научная литература акцентирует внимание на необходимость внедрения цифровых технологий и элементов «умного сельского хозяйства» Agriculture 4.0. Исследования Gyamfi E. K. и его коллег показывают, что применение технологий дистанционного монито-

ринга, искусственного интеллекта, спутникового анализа и автоматизированных систем управления позволяет повысить точность прогнозирования урожайности и снизить производственные риски [8].

В международных исследованиях подчеркивается важность пространственного анализа урожайности зерновых культур Казахстана. В частности авторы A.N. Nhu, R. Sahajpal, C. Justice по прогнозированию урожайности пшеницы с использованием спутниковых данных GEOGLAM отмечают, что применение машинного обучения способствует повышению точности оценки урожая и позволяет учитывать региональные различия агроклиматических условий [9].

Отдельное направление исследований связано с вопросами продовольственной безопасности и экспортного потенциала Казахстана. В научных публикациях отмечается, что зерновое хозяйство играет стратегическую роль в обеспечении внутреннего рынка и формировании экспортных доходов страны [10-13].

Материалы и методы. Комплексный характер методологии обусловлен необходимостью оценки вклада интенсивных факторов в формирование валового продукта. В ходе исследования были применены следующие методы: анализ научных литературы, статистический метод, сравнительный метод, экономико-математический метод, графический метод, регрессионный анализ и метод динамического анализа. Эмпирической базой являются - данных официальной государственной статистики Республики Казахстан. Исследование базируется на пятилетнем периоде, что методологически необходимо для нивелирования краткосрочных стохастических климатических флуктуаций и выявления устойчивых системных трендов. Для подтверждения гипотезы о качественной трансформации зернового сектора используется комплекс количественных методов, обеспечивающих научную верификацию долгосрочных трендов. Применение математического аппарата необходимо для выделения «технологической компоненты» в общем объеме производства.

Обсуждение и результаты.

1. Динамика посевных площадей зерновых и зернобобовых культур.

Использование земельного фонда в период 2021-2025 гг. характеризуется отсутствием устойчивого тренда на расширение клина зерновых культур. Динамика площадей демонстрирует выраженный колебательный характер, свидетельствующий о поиске оптимального баланса в рамках существующих агротехнических и экономических ограничений (Рисунок 1).

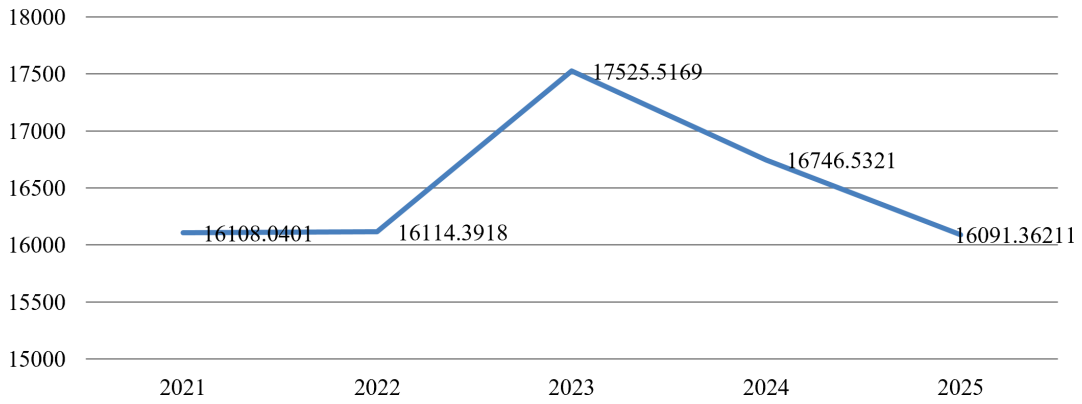


Рис.1 - Посевная площадь зерновых и зернобобовых культур за 2021-2025 гг., тысяч гектаров [14]

Итоговый темп роста за анализируемое пятилетие составил 99,9%, что де-факто указывает на стагнацию экстенсивного расширения. Резкий подъем 2023 года с последующим снижением до

уровня 2021 года подтверждает тезис о том, что отрасль достигла естественного предела территориальной экспансии при текущем технологическом укладе. Однако относительная неизменность общих площадей камуфлирует глубокие внутриструктурные трансформации, детальное рассмотрение которых необходимо для понимания перспектив отрасли.

2. Трансформация структуры растениеводства: зерновой сегмент VS альтернативные культуры.

В анализируемом периоде наблюдается постепенная диверсификация структуры растениеводства, выраженная в снижении удельного веса традиционных злаков в пользу более высокомаржинальных и востребованных рынком культур.

Таблица 1 - Структура посевной площади основных сельскохозяйственных культур за период 2021-2025 гг., % [14]

Показатель	2021	2022	2023	2024	2025	Темп роста (2025/2021), %
Зерновые и зернобобовые культуры	70,6	70,0	73,9	72,6	68,8	99,9
Культуры масличные	13,6	15,0	11,9	12,6	17,2	129,8
Картофель	0,9	0,9	0,4	0,5	0,6	67,4
Овощи открытого грунта	0,7	0,7	0,7	0,5	0,6	76,5
Культуры бахчевые	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	85,7
Свекла сахарная	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	122,3
Кормовые культуры	13,7	12,9	12,7	13,3	12,4	93,1

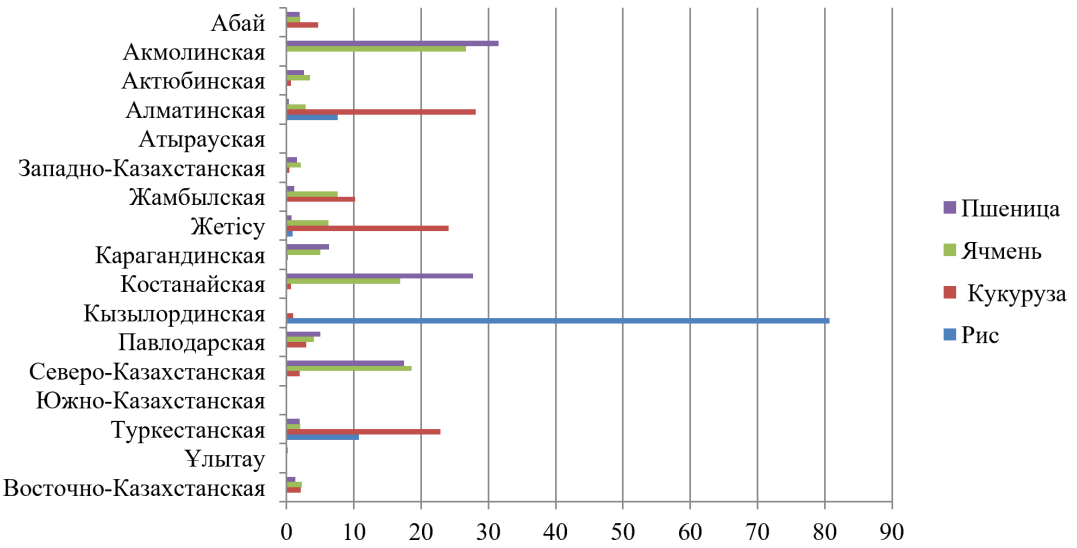


Рис.2 - Структура посевной площади основных сельскохозяйственных культур в Республике Казахстан за 2025 г., %

Данные подтверждают тренд на ослабление доминирующего положения зерновых: их доля сократилась с 70,6% до 68,8% к 2025 году. Основным бенефициаром этого процесса стал сег-

мент масличных культур, продемонстрировавший акцентированную экспансию с темпом роста 129,8%. Примечателен также рост интереса к сахарной свекле (122,3%), что в совокупности указывает на изменение рыночных приоритетов аграриев. Перераспределение земельного фонда в пользу масличных культур свидетельствует о попытках повышения рентабельности агробизнеса, при этом данные структурные сдвиги имеют четкую региональную специфику.

3. Территориальная специализация и зональное распределение производства.

Аграрный сектор Республики Казахстан функционирует в условиях жесткой природно-климатической детерминации, что обуславливает глубокую региональную специализацию производства (Рисунок 2).

Северный зерновой пояс. Данный макрорегион остается ключевым производителем пшеницы и ячменя. Концентрация посевов пшеницы в Акмолинской (31,5%), Костанайской (27,7%) и Северо-Казахстанской (17,5%) областях суммарно обеспечивает более 76% республиканского клина данной культуры. Аналогичная ситуация прослеживается по ячменю: совокупная доля этих трех областей составляет 62,1% (Акмолинская - 26,6%, СКО - 18,6%, Костанайская - 16,9%), что подтверждает статус региона как главного экспортного хаба страны.

Южный и юго-восточный кластер. Производство кукурузы, требующей более высокого температурного режима, сосредоточено в Алматинской (28,1%), Жетiсу (24,1%) и Туркестанской (22,8%) областях. В северных широтах данная культура практически не представлена.

Зона рисосеяния. Рис характеризуется экстремальной территориальной концентрацией: 80,7% всех площадей локализовано в Кызылординской области. Это подчеркивает уникальную роль региона, обладающего специфической инфраструктурой для возделывания водозатратных культур.

Таким образом, территориальное распределение предопределяет не только количественные параметры производства, но и качественную результативность, напрямую зависящую от агроклиматического потенциала зон, рассматриваемого далее.

4. Эффективность производства: интенсификация и динамика урожайности

Ключевым индикатором качественного развития отрасли в 2021–2025 гг. стал существенный рост продуктивности зернового клина. Несмотря на значительную волатильность 2023 года, когда средняя урожайность упала до 10,3 ц/га вследствие неблагоприятной агроклиматической конъюнктуры, общий вектор направлен на интенсификацию.

Таблица 2 - Урожайность основных зерновых и бобовых культур по РК [14]
(центнеров с одного гектара)

Показатель	2021	2022	2023	2024	2025	Темп роста (2025/2021), %
Пшеница	9,3	12,8	9,2	14,2	15,8	169,9
Ячмень	11	15,1	10,8	16,8	15,7	142,7
Кукуруза	59,9	58,3	62,5	62,0	57,0	95,2
Рис	52,1	49,1	48,5	52,2	51,9	99,6

Существенное повышение урожайности пшеницы и ячменя на фоне стабилизации площадей свидетельствует об усилении влияния технологических факторов. Именно рост продуктивности гектара стал решающим драйвером, обеспечившим итоговые производственные показатели республики.

5. Анализ валового сбора: кумулятивный эффект факторов производства.

Результатом синергии структурных сдвигов и роста технологичности стало достижение рекордных объемов производства. К 2025 году совокупный валовой сбор зерновых и бобовых культур составил 25 946,3 тыс. тонн, что на 58,4% выше уровня 2021 года (16 375,9 тыс. тонн).

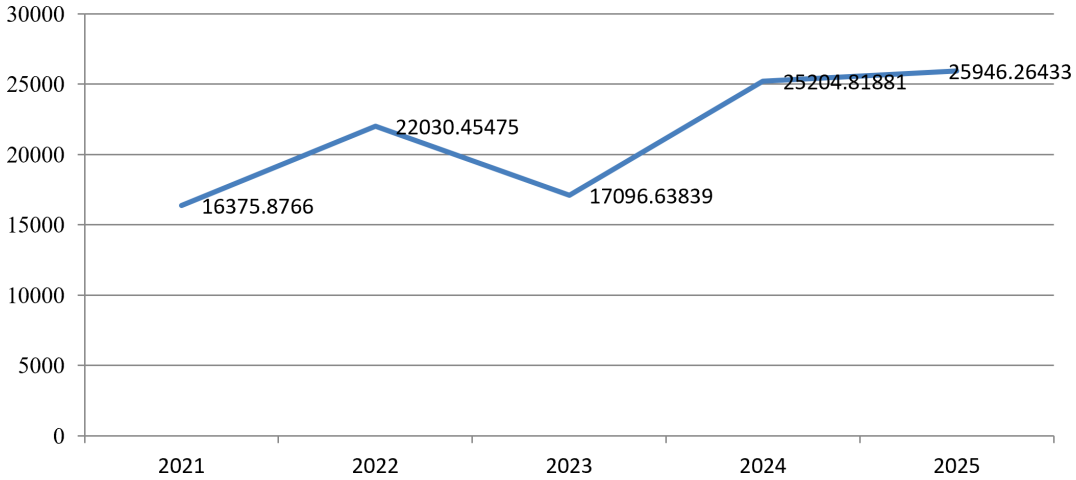


Рис.3 - Динамика валового сбора зерновых и зернобобовых культур за период 2021-2025 гг, тысяч тонн [14]

Динамика валового сбора в разрезе культур:

1. Пшеница: рост до 19 325,8 тыс. тонн (163,6% к уровню 2021 г.).

2. Ячмень: увеличение до 3 593,1 тыс. тонн (151,8%).

3. Кукуруза: сокращение до 1 000,6 тыс. тонн (88,6% от базиса).

4. Рис: умеренный рост до 525,9 тыс. тонн (104,4%).

Особую аналитическую ценность представляет тот факт, что максимальный объем сбора в 2025 году был достигнут при значительно меньшей посевной площади, чем в 2023 году (16,1 млн га против 17,5 млн га соответственно). Данная закономерность является неоспоримым доказательством качественного перехода аграрного сектора Казахстана к интенсивной модели хозяйствования, где приоритетом становится эффективность использования ресурсов, а не пространственная экспансия.

Климат играет определяющую роль в формировании валового сбора зерновых и зернобобовых культур. Казахстан, обладая разнообразными агроклиматическими зонами, подвержен значительным колебаниям температуры, осадков и других метеорологических условий, что непосредственно влияет на урожайность (Таблица 3).

2021 и 2023 годы были наиболее засушливыми за пятилетний период, с дефицитом осадков до 70 мм ниже климатической нормы и температурными аномалиями выше +1°C. Это привело к значительному снижению урожайности в южных и западных регионах страны.2020 и 2022 годы характеризовались близкими к норме условиями, что способствовало частичному восстановлению урожайности.2024 год продемонстрировал стабилизацию климатических условий, что позволило зафиксировать один из самых высоких валовых сборов за пятилетие (25204,8 тыс. тонн по стране). Установлена устойчивая взаимосвязь между аномалиями осадков и урожайностью, особенно в таких засушливых регионах, как Актюбинская, Кызылординская и Жамбылская области.

Анализ демонстрирует, что климатические колебания становятся не просто фоном, а ключевым фактором риска для зернового сектора Казахстана. В связи с этим требуется:

- развитие метео-прогностических сервисов для фермеров;
- переход к засухоустойчивым сортам;
- повышение доли ирригации и мелиорации в южных регионах;
- увеличение государственной поддержки на компенсацию погодных рисков.

Таблица 3 - Отклонения климатических показателей от нормы в Казахстане (средние значения), 2020–2024 гг. [15]

Год	Среднегодовая температура, °C	Аномальная температура, °C	Среднегодовые осадки, мм	Аномалия осадков, мм	Характеристика года
2020	9,2	+0,6	310	-10	Умеренно засушливый
2021	9,5	+0,9	260	-60	Засушливый
2022	9,1	+0,5	305	-15	Нормальный
2023	9,7	+1,1	250	-70	Экстремально засушливый
2024	9,3	+0,7	315	-5	Благоприятный

Экономическая составляющая оказывает не менее значительное влияние на уровень валового сбора. В частности, финансирование сельскохозяйственного сектора, доступность кредитов и уровень механизации оказывают прямое воздействие на объем и качество производства зерновых. Одним из важнейших факторов является господдержка аграрного сектора, выражающаяся в субсидиях на удобрения, топливо и семена. (Таблица 4)

Таблица 4 - Государственная поддержка и обновление сельхозтехники в Казахстане, 2020–2024 годы

Год	Субсидии на растениеводство (млрд тг)	Обновление сельхозтехники (единиц)
2020	112,5	12400
2021	117,3	13100
2022	123,8	14050
2023	132,7	14800
2024	138,5	15600

Анализ данных демонстрирует устойчивую положительную динамику роста объёмов государственной поддержки растениеводства и темпов обновления сельскохозяйственной техники. Увеличение субсидий на 23% за пятилетний период (с 112,5 до 138,5 млрд тг) сопровождалось последовательным расширением машинно-тракторного парка (рост более чем на 25%). Это свидетельствует о приоритетном внимании государства к вопросам повышения технологической устойчивости аграрного сектора и подтверждает стратегическую направленность на интенсификацию производства посредством модернизации технической базы [16,17].

Таким образом, валовой сбор зерновых и зернобобовых культур в Казахстане формируется под воздействием климатических и экономических факторов. Климатические изменения, связанные с засухами и температурными колебаниями, требуют адаптации сельскохозяйственных технологий и управления водными ресурсами. Экономические факторы, включая государственную поддержку, инвестиции в механизацию и развитие экспортных возможностей, также оказывают значительное влияние на объем производства. Для обеспечения устойчивого роста зернового сектора необходимы комплексные меры, направленные на адаптацию к изменяющимся климатическим условиям и повышение эффективности аграрного производства.

Анализ тенденций производства зерновых и зернобобовых культур в Казахстане показывает положительную динамику валового сбора, несмотря на сложные климатические условия и региональные различия. Умеренный рост посевных площадей в ведущих зерновых регионах страны, улучшение агротехнологий и государственная поддержка способствуют развитию сектора. В то же время, в ряде регионов наблюдается сокращение производства, что требует адаптации стратегии ведения сельского хозяйства. В будущем акцент на устойчивость сельскохозяйственного производства, развитие орошаемого земледелия и совершенствование экспортной политики позволит Казахстану укрепить позиции на мировом зерновом рынке [18].

С целью оценки перспектив развития производства зерновых (включая рис) и бобовых культур в Республике Казахстан на краткосрочную перспективу (2026–2027 гг.) в условиях климатических и институциональных изменений был проведён корреляционно-регрессионный анализ. Методологической основой анализа послужила модель множественной линейной регрессии, учитывающая ключевые производственные и климатические параметры.

В качестве зависимой переменной (Y) выступал валовой сбор зерновых и бобовых культур (тыс. тонн). В качестве независимых переменных были выбраны:

X_1 — площадь посевов, тыс. га;

X_2 — урожайность, ц/га;

X_3 — годовое количество осадков, мм;

X_4 — объём государственной поддержки растениеводства, млрд тенге.

Таким образом, регрессионная модель имела следующий вид:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \varepsilon$$

Корреляционный анализ показал наличие сильной прямой связи между валовым сбором и площадью посевов (r = 0,92), а также урожайностью (r = 0,85). Умеренные связи наблюдались между валовым сбором и количеством осадков (r = 0,78), а также с объёмом субсидий (r = 0,74), что подтверждает важность институциональных и агроэкологических факторов.

Для построения прогноза использовались средние темпы прироста ключевых показателей за 2020-2025годы, а также сценарные допущения об умеренном улучшении климатических условий и стабильном росте аграрной поддержки. Прогнозные значения отражены в таблице 5.

Таблица 5 - Прогноз валового сбора зерновых и бобовых культур в Республике Казахстан, 2026–2027 годы

Год	Посевные площади, тыс. га	Урожайность, ц/га	Осадки, мм	Субсидии млрд. тг	Прогноз валового сбора, тыс. тонн
2026	17200	15,3	315	152,0	26300
2027	17500	15,6	320	160,0	27200

Построенная модель демонстрирует поступательный рост валового сбора при условии сохранения благоприятной метеообстановки и устойчивой государственной поддержки. Среднегодовой прирост может составить порядка 6–8% за счёт расширения посевных площадей, технологической модернизации и улучшения погодных условий.

Вместе с тем необходимо учитывать ограничения прогноза, связанные с вероятностью экстремальных климатических явлений, нестабильностью экспортной конъюнктуры и изменениями в аграрной политике. Тем не менее, полученные расчёты позволяют использовать данную модель в качестве ориентировочного инструмента при формировании отраслевой стратегии.

Итак, зерновой сектор Республики Казахстан является одним из стратегически значимых направлений агропромышленного комплекса страны. Казахстан входит в число крупных мировых производителей и экспортеров пшеницы, особенно твердых сортов. Но вместе с тем, развитие зернового хозяйства страны происходит в условиях высокой зависимости от природно-климатических факторов, нестабильности мировых цен и необходимости технологической модернизации.

Средняя урожайность зерновых и зернобобовых культур в Казахстане значительно уступает показателям Канады, Германии, Франции и США. По данным исследования OECD и FAO мировой рост производства зерна в последние годы обеспечивается преимущественно за счет повышения урожайности и технологической модернизации. В странах Европейского союза активно применяют точное земледелие, спутниковый мониторинг, цифровые системы управления посевами, автоматизированная техника, системы прогнозирования урожайности. В Казахстане же цифровизация аграрного сектор находится на стадии активного развития, однако уровень внедрения технологий пока отстает от международных стандартов [19].

Кроме того, международный опыт показывает, что для снижения климатических рисков используются:

- засухоустойчивые сорта;
- водосберегающие технологии;
- системы агроклиматического мониторинга;
- страхование сельскохозяйственных рисков.

Например, Австралия успешно внедряет технологии управления влагой и устойчивого земледелия в условиях засушливого климата, что особенно актуально для Казахстана.

Международный опыт демонстрирует, что конкурентоспособность зернового сектора определяется не только объемами производства, но и уровнем технологического развития, эффективность аграрной политики, устойчивостью к климатическим рискам и развитостью экспортной инфраструктуры. Для Казахстана использование лучших международных практик может стать основой повышения эффективности и устойчивости зернового сектора в долгосрочной перспективе [20-21].

Мировые тенденции свидетельствуют о переходе от экстенсивного развития сельского хозяйства к инновационной и устойчивой модели аграрного производства.

Сравнение с международным опытом показывает, что дальнейшее развитие зернового сектора Казахстана должно быть связано с: технологической модернизацией, повышением урожайности, развитием переработки, адаптацией к изменению климата и цифровизацией сельского хозяйства.

Выводы. Обобщение результатов исследования динамики зернового сектора Республики Казахстан в 2021–2025 гг. и краткосрочный план развития отрасли на 2026-2027 гг позволил сформулировать следующие выводы:

1. Завершение экстенсивного цикла. Отрасль перешла в фазу стабилизации посевных площадей, что свидетельствует об исчерпании потенциала территориального расширения

2. Структурная адаптация. Наблюдается осознанная диверсификация растениеводства: при сохранении доминирующей роли зерновых происходит активное замещение части площадей масличными культурами в ответ на рыночные

вызовы.

3. Государственная поддержка. В ходе исследования выявлен устойчивый положительный рост объёмов государственной поддержки растениеводства и темпов обновления сельскохозяйственной техники.

4. Доминанта интенсификации и прогноз на 2026-2027 гг. Исходя расчета прогноза

валового сбора зерновых и бобовых культур в Республике Казахстан на 2026-2027 годы ожидается увеличение объемов производства. Рост валового сбора в долгосрочном периоде обеспечивается преимущественно за счет повышения урожайности. Это подтверждает переход сектора к модели развития, основанной на технологическом совершенствовании.

Таким образом, зерновой сектор Казахстана сохраняет статус стержневого элемента аграрной архитектуры страны, демонстрируя высокую адаптивность и постепенную трансформацию из количественной в качественную модель функционирования.

Литература

1. Сидоренко О.В., Матюхин С.И., Гришина С.Ю., Алексеева Е.В., Гусейнов Ш.Э. Зерновое производство: тренды, модели и возможности в региональном контексте // Вестник аграрной науки. - 2021. - № 3(90). - С.158-168. DOI 10.17238/issn2587-666X.2021.3.158.

2. Сидоренко О.В., Шабанникова Н.Н., Сергеева С.А. Эффективное развитие зерновой отрасли как стратегический приоритет аграрной политики РФ // Вестник аграрной науки. -2022. - № 3(96). - С.147-153. DOI 10.17238/issn2587-666X.2022.3.147.

3. Джолдасбаева Г.К., Есайдар У.С., Кирдасинова К.А. Развитие зерновой отрасли Республики Казахстан // Проблемы агрорынка. - 2018. - Т 3. - С.45-53.

4. Мизанбекова С.К., Калыкова Б.Б., Айтмуханбетова Д.А. Зерновое хозяйство - основа функционирования зернопродуктового подкомплекса // Проблемы агрорынка. - 2021. - Т.2. - С.130-137. DOI 10.46666/2021-2.2708-9991.16.

5. Жолдоякова Г.Е. Баланс растениеводческой продукции в Республике Казахстан// Инновационные технологии как фактор развития: материалы международной научно-практической конференции в рамках XXXIV Международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2024», Уфа: Башкирский государственный аграрный университет. - 2024. - С.118-124. ISBN-978-5-7456-0916-9.

6. Жолдоякова Г.Е., Беспаев М.Е., Камидолла А.А. Анализ состояния производства продукции сельского хозяйства Республики Казахстан // Инновационные технологии как фактор развития: материалы международной научно-практической конференции в рамках XXXIV Международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2024», Уфа: Башкирский государственный аграрный университет. - 2024. - С.124-129.

7. Болатова Ж., Булхаирова Ж. Климаттың өзгеруінің Қазақстандағы дәнді-бұршақ дақылдар өндірісінің экономикалық тиімділігіне әсері және келешектегі перспективалары. // IzdenisterNatigeler. – 2023. -№ 4. - Б. 286–294. DOI 10.37884/4-2023/31.

8. Gyamfi E. K. et al. Agricultural 4.0 leveraging on technological solutions: Study for smart farming sector //2024 IEEE 3rd international conference on computing and machine intelligence (ICMI). – IEEE, 2024. - P.1-9.

9. Nhu A.N, Sahajpal R, Justice C, Becker-Reshef I. Improve State-Level Wheat Yield Forecasts in Kazakhstan on GEOGLAM’ s EO Data by Leveraging A Simple Spatial-Aware Technique // arXiv - 2023. DOI 10.48550/arXiv.2306.04646

10. Phan K. L., Fitzgerald D. A., Nathan P. J., Tancer, M. E. Association between Amygdala Hyperactivity to Harsh Faces and Severity of Social Anxiety in Generalized Social Phobia. - 2006. - Vol.59(5). - P.424-429. DOI 10.1016/j.biopsych.2005.08.012.

11. Donghoon Lee, Frank Davenport, Shraddhanand Shukla, Greg Husak, Chris Funk, Laura Harrison, Amy McNally, James Rowland, Michael Budde, James Verdin. Maize yield forecasts for sub-saharanafrica using earth observation data and machine learning. // Global Food Security. - 2022. - Vol.33: 100643. DOI 10.1016/j.gfs.2022.100643.

12. Meroni M., Waldner F., Seguini L., Kerdiles H, Rembold F. Yield forecasting with machine learning and small data: What gains for grains? // Agricultural and Forest Meteorology. - 2021. Vol.308-309: 108555. DOI 10.1016/j.agrformet.

13. Sahajpal R., Fontana L., Lafluf P., Leale G., Puricelli E., Hosseini M., Varela M., Becker-Reshef M. Using machine-learning models for field-scale crop yield and condition modeling in argentina. - 2020. - P.1-6. - DOI 10.31223/x52595.

14. Сайт Бюро национальной статистки. URL: https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-forrest-village-hunt-fish/dynamic-tables/. - Дата обращения: 20.02.2026.

15. Официальный сайт Национального гидрометеорологического центра // Казгидромет. URL: - Дата обращения: 20.02.2026.

16. Печерцева, О. Н. Роль интенсивных и экстенсивных факторов в развитии агропроизводства // Экономика сельского хозяйства России. - 2011. - № 6. - С.55-60.

17. Государственная поддержка АПК: официальный сайт Единой платформы интернет-ресурсов государственных органов Республики Казахстан / GOV.KZ. - URL: https://www.gov.kz. -Дата обращения: 20.02.2026.

18. Об утверждении Концепции развития агропромышленного комплекса Республики Казахстан на 2021 - 2030 годы: постановление Правительства Республики Казахстан от 30 декабря 2021 г. № 960 / ИПС «Әділет». URL: https://adilet.zan.kz. - Дата обращения: 20.02.2026.

19. OECD-FAO. OECD-FAO Agricultural Outlook 2018–2027. Organisation for Economic Cooperation and Development, and Food and Agricultural Organisation of the United Nations (Paris: OECD Publishing and FAO, 2018). URL: . - Дата обращения: 17.01.2026.

20. GIEWS - Global Information and Early Warning System. URL: . - Дата обращения: 17.01.2026.

21. Beluhova-Uzunova R., Dunchev D. Agriculture 4.0-concepts, technologies and prospects // Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development. - 2022. - Vol.22(2). - P.97-104.

References

1. Sidorenko O.V., Matjuhin S.I., Grishina S.Ju., Alekseeva E.V., Gusejnov Sh.Je. Zernovoe proizvodstvo: trendy, modeli i vozmozhnosti v regional’ nom kontekste // Vestnik agrarnoj nauki. - 2021. - № 3(90). - S.158-168. DOI 10.17238/issn2587-666X.2021.3.158. [in Russian]

2. Sidorenko O.V., Shabannikova N.N., Sergeeva S.A. Jeffektivnoe razvitie zernovoj otrasli kak strategicheskij prioritet agrarnoj politiki RF // Vestnik agrarnoj nauki. -2022. - № 3(96). - S.147-153. DOI 10.17238/issn2587-666X.2022.3.147. [in Russian]

3. Dzholdasbaeva G.K., Esajdar U.S., Kirdasinova K.A. Razvitie zernovoj otrasli Respubliki Kazahstan // Problemy agrorynka. - 2018. - T 3. - S.45-53. [in Russian]

4. Mizanbekova S.K., Kalykova B.B., Ajtmuhanbetova D.A. Zernovoe hozjajstvo - osnova funkcionirovanija zernoproduktovogo podkompleksa // Problemy agrorynka. - 2021. - T.2. - S.130-137. DOI 10.46666/2021-2.2708-9991.16. [in Russian]

5. Zholdojakova G.E. Balans rastenievodcheskoj produkcii v Respublike Kazahstan// Innovacionnye tehnologii kak faktor razvitija: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii v ramkah XXXIV Mezhdunarodnoj specializirovannoj vystavki «Agrokompleks-2024», Ufa: Bashkirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. - 2024. - S.118-124. ISBN-978-5-7456-0916-9. [in Russian]

6. Zholdojakova G.E., Bespaev M.E., Kamidolla A.A. Analiz sostojanija proizvodstva produkcii sel’ skogo hozjajstva Respubliki Kazahstan // Innovacionnye tehnologii kak faktor razvitija: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii v ramkah XXXIV Mezhdunarodnoj specializirovannoj vystavki «Agrokompleks-2024», Ufa: Bashkirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. - 2024. - S.124-129. [in Russian]

7. Bolatova Zh., Bulhairova Zh. Klimattyң өzgeruinің Қazaқstandaғy dəndi-bұrshaқ daқyldar өndirisinің jekonomikalyқ tiimdiligine əseri zhəne keleshektegi perspektivalary. // IzdenisterNatigeler. – 2023. -№ 4. - B.286–294. DOI 10.37884/4-2023/31. [in Kazakh]

8. Gyamfi E. K. et al. Agricultural 4.0 leveraging on technological solutions: Study for smart farming sector //2024 IEEE 3rd international conference on computing and machine intelligence (ICMI). – IEEE, 2024. - P.1-9.

9. Nhu A.N, Sahajpal R, Justice C, Becker-Reshef I. Improve State-Level Wheat Yield Forecasts in Kazakhstan on GEOGLAM’ s EO Data by Leveraging A Simple Spatial-Aware Technique // arXiv - 2023. DOI 10.48550/arXiv.2306.04646

10. Phan K. L., Fitzgerald D. A., Nathan P. J., Tancer, M. E. Association between Amygdala Hyperactivity to Harsh Faces and Severity of Social Anxiety in Generalized Social Phobia. - 2006. - Vol.59(5). - P.424-429. DOI 10.1016/j.biopsych.2005.08.012.

11. Donghoon Lee, Frank Davenport, Shraddhanand Shukla, Greg Husak, Chris Funk, Laura Harrison, Amy McNally, James Rowland, Michael Budde, James Verdin. Maize yield forecasts for sub-saharanafrica using earth observation data and machine learning. // Global Food Security. - 2022. - Vol.33: 100643. DOI 10.1016/j.gfs.2022.100643.

12. Meroni M., Waldner F., Seguini L., Kerdiles H, Rembold F. Yield forecasting with machine learning and small data: What gains for grains? // Agricultural and Forest Meteorology. - 2021. Vol.308-309: 108555. DOI 10.1016/j.agrformet.

13. Sahajpal R., Fontana L., Lafluf P., Leale G., Puricelli E., Hosseini M., Varela M., Becker-Reshef M. Using machine-learning models for field-scale crop yield and condition modeling in argentina. - 2020. - P.1-6. - DOI 10.31223/x52595.

14. Sajt Bjuro nacional’ noj statistki. URL: https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-forrest-village-hunt-fish/dynamic-tables/. - Data obrashhenija: 20.02.2026. [in Russian]

15. Oficial’ nyj sajt Nacional’ nogo gidrometeorologicheskogo centra // Kazgidromet. URL: https://www.kazhydromet.kz/ru/ - Data obrashhenija: 20.02.2026. [in Russian]

16. Pecherceva, O. N. Rol’ intensivnyh i jekstensivnyh faktorov v razvitii agroproizvodstva // Jekonomika sel’ skogo hozjajstva Rossii. - 2011. - № 6. - S.55-60. [in Russian]

17. Gosudarstvennaja podderzhka APK: oficial’ nyj sajt Edinoj platformy internet-resursov gosudarstvennyh organov Respubliki Kazahstan / GOV.KZ. - URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/aqmola-ush/activities/7959. -Data obrashhenija: 20.02.2026.

[in Russian]

18. Ob utverzhdenii Koncepcii razvitija agropromyshlennogo kompleksa Respubliki Kazahstan na 2021 - 2030 gody: postanovlenie Pravitel' stva Respubliki Kazahstan ot 30 dekabrja 2021 g. № 960 / IPS «Ədilet». URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2100000960. - Data obrashhenija: 20.02.2026. [in Russian]

19. OECD-FAO. OECD-FAO Agricultural Outlook 2018–2027. Organisation for Economic Cooperation and Development, and Food and Agricultural Organisation of the United Nations (Paris: OECD Publishing and FAO, 2018). URL: . - Data obrashhenija: 17.01.2026.

20. GIEWS - Global Information and Early Warning System. URL: . - Data obrashhenija: 17.01.2026.

21. Beluhova-Uzunova R., Dunchev D. Agriculture 4.0-concepts, technologies and prospects // Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development. - 2022. - Vol.22(2). - P.97-104.

Сведения об авторах

Жолдоякова Г.Е. - старший преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, Астана, Казахстан,e-mail: Zhge17@mail.ru;

Мукашева Г.М. - старший преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: gulzhan74@mail.ru;

Жакишева К.М.- старший преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: kuralay_zhakisheva@mail.ru;

Жуманова Д.Т. – к.э.н., доцент, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: dzhumanova@mail.ru;

Беспаев М.Е. – старший преподаватель, Университет «Туран-Астана», Астана, Казахстан, e-mail: MBespaev_1@mail.ru.

Information about the authors

Zholdoyakova G.E. - Senior lecturer, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University Astana, Kazakhstan, e-mail: Zhge17@mail.ru;

Mukasheva G.M. - Senior lecturer, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University Astana, Kazakhstan, e-mail: gulzhan74@mail.ru;

Zhakisheva K.M. - Senior lecturer, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University Astana, Kazakhstan, e-mail: kuralay_zhakisheva@mail.ru;

Zhumanova, D.T. - Candidate of Economics, Associate Professor, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University Astana, Kazakhstan, e-mail: dzhumanova@mail.ru;

Bespaev M.E. - Senior Lecturer, Turan-Astana University, Astana, Kazakhstan, MBespaev_ e-mail: 1@mail.ru.

МРНТИ 06.73.75 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1571**

КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ФАКТОРОВ СПРОСА НА ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ КРЕДИТЫ В РК

[1]Ж.М. Тымбаева✉, [2]Ф. Гафиатуллин, [1]Б.Б. Амралинова, [1]Г.С. Муханова, [1]А.Ж. Турегельдинова

[1]Казахский национальный исследовательский технический университет им.К.Сатпаева, Алматы, Казахстан,
[2]ТОО ”Online Shopping”, Алматы, Казахстан

✉ *Корреспондент автор: z.tymbayeva@satbayev.university*

В статье исследуются факторы, влияющие на рост спроса потребительских кредитов в Казахстане. Актуальность исследования обусловлена ростом объемов потребительского кредитования и рисков перекредитованности домохозяйств, что может оказывать влияние на устойчивость финансовой системы. В работе проведен анализ научных исследований, посвященных проблемам кредитного поведения населения, регулирования портебительского кредитования и финансовой уязвимости домохозяйств. Так же уделено внимание международному опыту оценки факторов спроса на потребительские кредиты и механизмам регулирования кредитного рынка.

Целью исследования является выявление ключевых факторов, оказывающих влияние на объемы потребительского кредитования. В рамках исследования выдвинута гипотеза, о том, что объем потребительского кредитования находится в прямой зависимости от доходов населения и индекса потребительских цен и в обратной зависимости от процентных ставок по банковским кредитам. Для проверки гипотезы использовались методы корреляционно-регрессионного анализа с использованием языка программирования Python.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке мер по совершенствованию регулирования потребительского кредитования и снижению кредитной нагрузки на население, а так же при формировании государственной политики в сфере обеспечения устойчивости финансового рынка.

Ключевые слова: потребительское кредитование, факторы потребительского кредитования, процентная ставка, корреляционно-регрессионный анализ, доходы населения, спрос на потребительские кредиты.

ҚР-дағы ТҰТЫНУШЫЛЫҚ НЕСИЕЛЕРГЕ СҰРАНЫС ФАКТОРЛАРЫН КОРРЕЛЯЦИЯЛЫҚ-РЕГРЕССИЯЛЫҚ ТАЛДАУ

[1]Ж.М. Тымбаева✉, [2]Ф. Гафиатуллин, [1]Б.Б. Амралинова, [1]Г.С. Муханова, [1]А.Ж. Турегельдинова

[1]Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]”Online Shopping” ЖШС, Алматы, Қазақстан,
e-mail: z.tymbayeva@satbayev.university

Мақалада Қазақстандағы тұтынушылық несиелерге сұраныстың өсуіне әсер ететін факторлар зерттеледі. Зерттеудің өзектілігі тұтынушылық несиелеу көлемінің өсуіне және қаржы жүйесінің тұрақтылығына әсер етуі мүмкін үй шаруашылықтарының шамадан тыс несиелену тәуекелдеріне байланысты. Жұмыста халықтың несиелік мінез-құлқы, тұтынушылық несиелеуді реттеу және үй шаруашылықтарының қаржылық осалдығы мәселелеріне арналған ғылыми зерттеулерге талдау жасалды. Сондай-ақ, тұтынушылық несиелерге сұраныс факторларын бағалаудың халықаралық тәжірибесіне және несие нарығын реттеу тетіктеріне назар аударылды.

Зерттеудің мақсаты тұтынушылық несиелеу көлеміне әсер ететін негізгі факторларды анықтау болып табылады. Зерттеу аясында тұтынушылық несиелеу көлемі халықтың табысына және тұтыну бағаларының индексіне тікелей байланысты және банктік несиелер бойынша пайыздық мөл-

шерлемелерге кері байланысты деген болжам жасалды. Гипотезаны тексеру үшін Python бағдарламалау тілін қолдана отырып, корреляциялық-регрессиялық талдау әдісі қолданылды.

Алынған нәтижелер тұтынушылық несиелеуді реттеуді жетілдіру және халыққа кредиттік жүктемені азайту жөніндегі шараларды әзірлеу кезінде, сондай-ақ қаржы нарығының тұрақтылығын қамтамасыз ету саласында мемлекеттік саясатты қалыптастыруда пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: тұтынушылық несиелеу, тұтынушылық несиелеу факторлары, пайыздық мөлшерлеме, корреляциялық-регрессиялық талдау, халықтың табысы, тұтынушылық несиеге сұраныс.

CORRELATION-REGRESSION ANALYSIS OF FACTORS OF DEMAND FORCONSUMER LOANS IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

[1]Zh. Tymbayeva✉, [2]F. Gafiatullin, [1]B. Amralinova, [1]G. Mukhanova, [1]A. Turegeldinova

[1]K. Satbayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan,
[2]"Online Shopping" LLP, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: z.tymbayeva@satbayev.university

This article examines factors influencing the growth of consumer loan demand in Kazakhstan. The relevance of the study is due to the growth of consumer lending and the risk of household over-indebtedness, which may impact the stability of the financial system. The paper analyzes scientific research on the credit behavior of the population, consumer lending regulation, and household financial vulnerability. It also focuses on international experience in assessing consumer loan demand factors and credit market regulation mechanisms.

The aim of the study is to identify key factors influencing consumer lending volumes. The study hypothesizes that consumer lending volumes are directly related to household income and the consumer price index, and inversely related to interest rates on bank loans. Correlation and regression analysis using the Python programming language were used to test this hypothesis.

The results obtained can be used in developing measures to improve consumer lending regulation and reduce the credit burden on the population, as well as in formulating public policy to ensure financial market stability.

Key words: consumer lending, consumer lending factors, interest rate, correlation and regression analysis, population income, demand for consumer loans.

Введение. В условиях роста масштабов потребительского кредитования в Казахстане все более актуальной становится проблема перекредитованности населения, что требует выявления факторов, оказывающих влияние на объемы кредитования. Одновременно с этим возрастает риск дефолта заемщиков, что может создавать дополнительную нагрузку на финансовый сектор и снижать устойчивость банковской системы.

В научной литературе данная проблема рассматривается через анализ финансовой уязвимости домохозяйств. Так, в работе (Albacete et.al., 2013) на основе микроэкономического анализа оцениваются такие показатели уязвимости, как соотношение долга к доходу, бремя обслуживания долга и уровень ликвидных ограничений [1]. Использование данных индикаторов позволяет выявить группы домохозяйств в Австрии, которые могут столкнуться с трудностями при погашении задолженности в случае неблагоприятных экономических шоков, таких как снижение доходов или рост процентных ставок.

Исследования причин кредитной задолженности населения в Италии проводились (M. Affinito et.al., 2025) по двум видам кредитования: жилищное ипотечное и потребительское. По двум исследуемым факторам, характеристики банка и домашнего хозяйства, были выявлены различные результаты в зависимости от типа кредитования [2].

Актуальность данного вопроса подтверждается и структурой кредитного рынка Казахстана. Доля потребительских кредитов в структуре валового внутреннего продукта страны в последние годы демонстрирует устойчивый рост. Исследование МВФ показывает, что в Казахстане кредитование физических лиц оказывает большее влияние на экономический цикл, чем кредитование корпораций другими словами что финансовый цикл влияет на экономический цикл в большей степени через потребление, чем через инвестиции [3]. В связи с этим для Казахстана особую значимость приобретает разработка эффективных направлений снижения кредитной нагрузки на национальную экономику и обеспечения устойчивости финансовой системы.

Одним из возможных инструментов решения данной проблемы является государственное регулирование спроса на потребительские кредиты. В исследовании (T.Takalo, 2019) [4] рассматриваются экономические основания регулирования данного сегмента финансового рынка, а также проводится оценка эффективности различных инструментов государственной политики, направленных на снижение рисков чрезмерной задолженности домохозяйств. Снижение риска кредитной задолженности достигнуто за счет своевременной государственной политики в Чили (C. Madeira, 2022) [5].

Методологической основой данного исследования выступает качественный анализ научных исследований и институциональной практики регулирования, в частности опыта реформирования рынка краткосрочного кредитования в Финляндии. Автор сопоставляет различные подходы к регулированию, включая введение ограничений на процентные ставки, повышение прозрачности условий кредитования и применение инструментов, основанных на положениях поведенческой экономики.

Результаты исследования (E. Alper et.al., 2020) показывают, что введение потолка процентных ставок (interest rate ceiling) не всегда является эффективным механизмом регулирования краткосрочных кредитных рынков [6]. Подобные ограничения могут приводить к сокращению предложения кредитных продуктов и уходу части кредиторов с рынка, что, в свою очередь, снижает доступность финансовых услуг для заемщиков с более высоким уровнем кредитного риска.

Вместе с тем проблемы краткосрочного кредитования во многом обусловлены информационной асимметрией и поведенческими особенностями заемщиков, такими как недооценка реальной стоимости кредита или чрезмерно оптимистичные ожидания относительно будущих доходов. В этой связи более эффективными инструментами регулирования могут выступать повышение прозрачности ценовых условий кредитования, стандартизация раскрытия информации о полной стоимости кредита, а также применение поведенческих механизмов регулирования.

Исходя из обозначенных проблем, целью настоящего исследования является выявление ключевых факторов и зависимостей, оказывающих влияние на объемы потребительского кредитования.

Исследование основывается на следующей гипотезе: объемы потребительского кредитования прямо пропорциальны объемам доходов населения, индексу потребительских цен и обратно пропорциальна ставке вознаграждения по банковским потребительским кредитам.

Эмпирические исследования динамики кредитных рынков свидетельствуют о наличии процесса конвергенции уровней частного кредитования в европейских странах. Как показывают результаты исследования (Berrak Bahadir et.al., 2017) [7], данный процесс особенно заметен среди стран с переходной экономикой, которые первоначально характеризовались более низким уровнем финансового развития, однако со временем приблизились к уровню кредитования, характерному для стран Западной Европы. При этом отмечается, что процесс конвергенции проявляется более выраженно в сегменте кредитования домохозяйств, чем в корпоративном секторе. Наиболее быстрые темпы роста наблюдаются в сфере потребительского кредитования.

Методологической основой исследования (Berrak Bahadir et.al., 2017) [7] выступают па-

нельные эконометрические методы, применяемые для анализа конвергенции уровней кредитования, измеряемых как отношение банковского кредита частному сектору к валовому внутреннему продукту. В рамках анализа проводится разграничение между кредитами домохозяйств (включающими ипотечные и потребительские кредиты) и кредитами предприятиям, что позволяет провести более детальное сопоставление динамики структуры кредитования в различных странах.

Вместе с тем проблема развития потребительского кредитования вызывает значительный интерес в научной среде и широко исследуется как в развитых, так и в развивающихся странах (Carlos Madeira, 2019; D.Christelis, et.al, 2021) [8-9]. Результаты ряда исследований показывают, что введение более строгих ограничений на процентные ставки может существенно сократить доступ к кредитным ресурсам для домохозяйств с высоким уровнем риска и низкими доходами. Финансовые институты, реагируя на ужесточение регулирования, нередко усиливают требования к заемщикам и пересматривают стандарты кредитования. Это, в свою очередь, приводит к сокращению объема небольших потребительских кредитов, которые ранее предоставлялись по более высоким процентным ставкам, вследствие чего часть потенциальных заемщиков оказывается ограниченной в доступе к финансовым ресурсам.

Исследование факторов, влияющих на спрос на потребительские кредиты, также представлено в ряде эмпирических работ. Так, в исследовании (E.Luis et.al, 2023), посвященном рынку потребительского кредитования в Колумбии [10], в качестве ключевых факторов рассматриваются процентная ставка, уровень доходов домохозяйств, объем задолженности, кредитный рейтинг заемщика и срок кредита. Полученные результаты свидетельствуют о том, что доходы населения и процентные ставки выступают основными детерминантами спроса на потребительский кредит, а также подтверждают наличие ограничений ликвидности у домохозяйств. Исследование (Tan et.al, 2024) выявило, что значительное повышение ключевой ставки снижает потребительский спрос на кредиты [11].

В свою очередь, исследование C. Madeira (C. Madeira, 2023) [12] акцентирует внимание на мерах, способных снизить риски дефолта заемщиков и повысить устойчивость рынка потребительского кредитования. Автор отмечает, что программы повышения финансовой грамотности, более строгая оценка платежеспособности заемщиков и реформирование пенсионной системы могут способствовать снижению вероятности невозврата кредитов и улучшению функционирования кредитных рынков. При этом наибольший эффект демонстрируют инициативы, направленные на развитие финансовой грамотности населения, поскольку они позволяют снизить уровень чрезмерного заимствования и уменьшить объем просроченной задолженности (A.A. Sinyakov et.al, 2025) [13].

В Казахстане исследованию факторов, влияющих на потребительское кредитное поведение, также уделяется значительное внимание. Так, в работе (N.Bolatov, 2023) [14] представлены результаты социологического исследования, проведенного на основе опроса 783 респондентов. Полученные результаты показывают, что большинство участников исследования положительно оценивают уровень развития услуг потребительского кредитования в стране. По мнению респондентов, одним из ключевых направлений дальнейшего развития потребительского кредитования станет расширение использования технологий искусственного интеллекта и машинного обучения при принятии решений о выдаче кредитов, что уже активно применяется в практике многих коммерческих банков.

Вместе с тем результаты опроса показывают наличие определенных рисков, связанных с ростом потребительского кредитования. Значительная часть респондентов выражает обеспокоенность высоким уровнем процентных ставок и увеличением долговой нагрузки населения. Отмечается также рост числа заемщиков, испытывающих трудности с погашением кредитных обязательств, что свидетельствует о необходимости совершенствования механизмов регули-

рования и повышения финансовой устойчивости домохозяйств.

Материалы и методы.Для выявления степени влияния ключевых факторов на объемы потребительского кредитования в РК был проведен корреляционно-регрессионный анализ с использованием языка программирования Python, включающий несколько ключевых факторов.В качестве зависимой переменной был использован номинальный объем потребительских кредитов (V_{cl}) в РК за период 2015-2024 годы в млн.тенге. А следующие показатели были определены как факторы, влияющие на объем потребительского кредитования населения:

In - доходы населения (тенге в среднем на душу)

C_f - расходы населения на потребительские товары (тенге в среднем на душу)

C_c - расходы населения на продовольственные товары (тенге в среднем на душу)

CPI - индекс потребительских цен (%)

IRC - ставка вознаграждения по потребительским кредитам (%)

Данные, были получены из открытых официальных источников и приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Факторы портебительского кредитования Казахстана

Год	**Объемы потребительского кредитования млн.тенге**	**Доходы населения на душу, тенге**	**Расходы на продовольственные товары на душу населения, тенге**	**Расходы на потреб. товары на душу, тенге**	**% по потреб. кредитованию**	**Индекс потреб. цен**
	V_{cl}	In	C_f	C_c	CPI	IRC
2015	1 765 204	493 264	206 403	426 825	17	13,6
2016	1 891 547	533 561	229 799	465 830	19,8	8,5
2017	2 822 846	570 743	514 693	555 831	20,9	7,1
2018	3 480 133	629 033	298 347	571 607	19	5,3
2019	4 521 210	692 703	334 293	621 740	18,8	5,4
2020	3 830 064	744 424	386 025	665 272	16,8	7,5
2021	7 274 765	829 333	427 330	752 530	19,2	8,4
2022	8 578 514	964 447	476 110	861 942	17,6	20,3
2023	10 311 254	1 161 847	550 766	988 453	18,4	9,8
2024	13 765 946	1 328 907	541 504	1 070 506	19,1	8,6
Примечание: составлено на основе данных [15- 17]						

В ходе исследования построены две модели: номинальная модель (в текущих ценах) и реальная модель (с корректировкой на инфляцию).

Обсуждение и результаты. Номинальная модель показывает зависимости факторов в текущих ценах и может послужить основой для прогнозирования объемов потребительского кредитование на ближайшие несколько лет, при условии, что характер взаимосвязей между факторами не изменится.

Номинальная модель показала следующие характеристики:

- коэффициент детерминации R^2 = 0,986;

- скорректированный R^2= 0,969;

- F-статистика = 57,96;

- уровень значимости модели $Prob(F$ - statistic) = 0,0008.

Это означает, что 98,6% вариации объема потребительского кредитования объясняется включенными в модель факторами. Таким образом, модель обладает исключительно высоким качеством аппроксимации. Графическая интерпретация подтверждает практически полное совпадение расчетных и фактических значений на всем исследуемом временном интервале (рисунок 1).

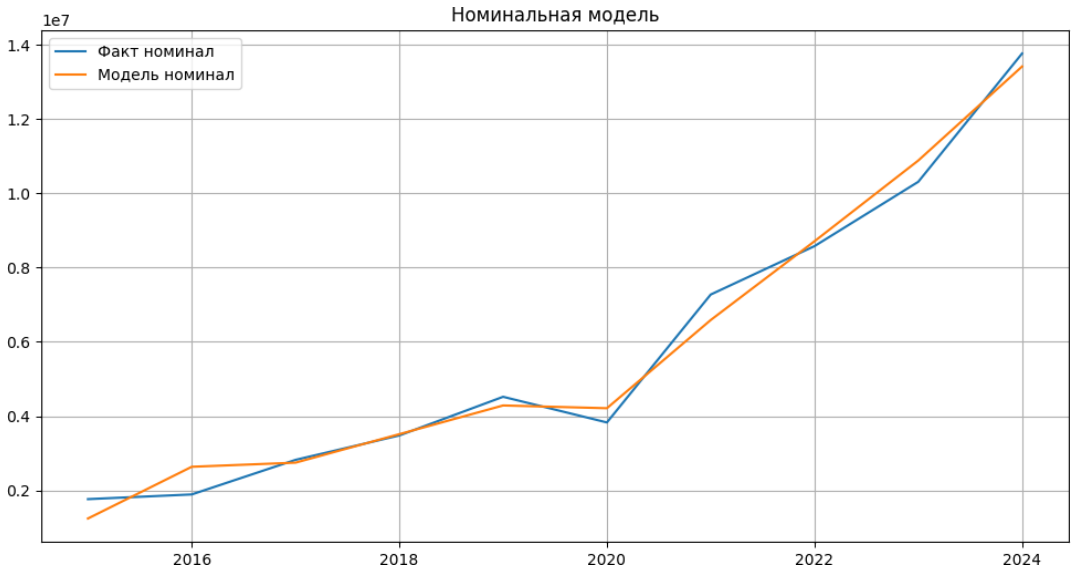


Рис.1 - Номинальная модель объемов потребительского кредитования

В результате получили следующее линейное уравнение номинальной модели

$$V_{cl} = -13\,962\,288,91 + 9,98 \cdot In - 4,54 \cdot C_f + 7,51 C_c + 415\,197,56 \cdot IRC + 70\,348,43 \cdot CPI \quad (1)$$

Доходы населения (In - Income)

Коэффициент 9,98 в уравнении (1) показывает, что увеличение доходов населения на 1 млн тенге сопровождается ростом объема потребительского кредитования примерно на 9,98 млн тенге. Это отражает зависимость кредитной активности от платежеспособности населения.

Расходы на продовольственные товары (C_f)

Отрицательный коэффициент (-4,54) свидетельствует о том, что увеличение расходов на продовольственные товары сокращает потенциал формирования спроса на новые кредиты. Это может отражать ситуацию, когда в структуре потребительских расходов большая часть приходится на товары продовольственного назначения.

Потребительские расходы (C_c)

Положительный коэффициент (7,51) указывает на прямую связь между потребительской активностью и объемом кредитования.

Проценты по потребительским кредитам (IRC)

Коэффициент 415 197,56 отражает влияние процентов по потребительским кредитам. Увеличение процентных ставок по потребительским кредитам сопровождается увеличением совокупного объема потребительского кредитования, что приводит к росту долговой нагрузки населения.

Индекс потребительских цен (CPI)

Положительный коэффициент 70 348,43 показывает, что инфляционные процессы способствуют росту номинальных объемов кредитования, увеличивая денежную оценку экономиче-

ских показателей, при этом

Анализ реальной модели (с учетом инфляции). Реальная модель характеризуется следующими параметрами.

Реальная модель показала:

- R^2 = 0,893;
- скорректированный R^2 = 0,807;
- F-статистика = 10,40;
- $Prob(F\text{-statistic})$ = 0,0122.

Таким образом, 89,3% вариации реального объема кредитования объясняется включенными факторами. Модель является статистически значимой и демонстрирует высокую способность определять значимые взаимосвязи между факторами даже после устранения инфляционного эффекта.

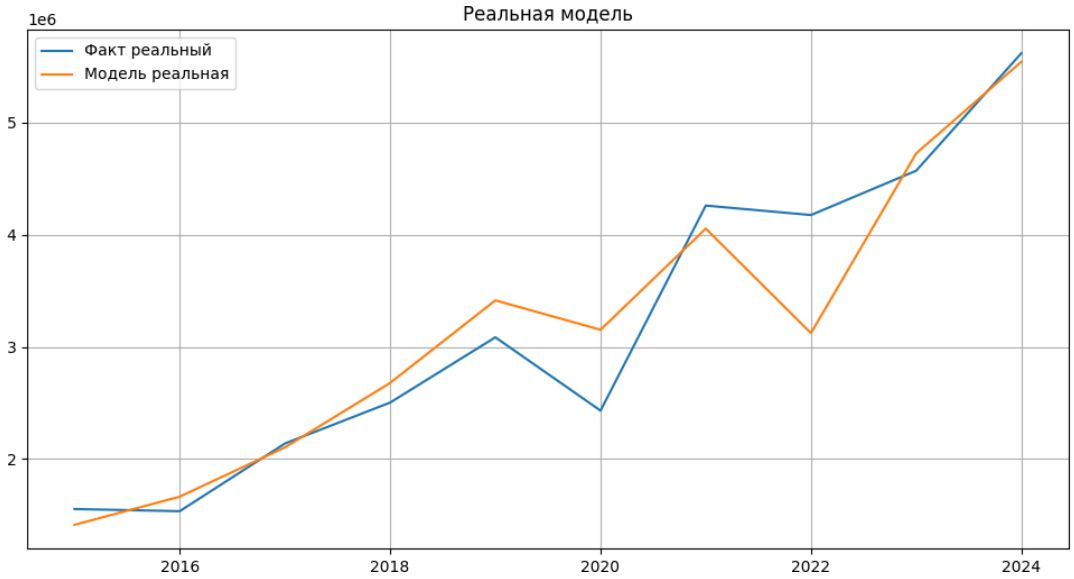


Рис.2 - Реальная модель объемов потребительского кредитования

Линейное уравнение реальной модели выглядит следующим образом:

$$V_{cl} = -18338397,82 + 26,40 \cdot In - 2,30 \cdot C_f + 19,05 \cdot C_c + 91023,94 \cdot IRC \qquad (2)$$

В уравнении (2) видим, что после исключения инфляционного фактора влияние реальных доходов усиливается (коэффициент 26,40), что подтверждает фундаментальную зависимость кредитной активности от реального уровня благосостояния населения. Влияние продовольственных расходов остается отрицательным, однако статистически менее выраженным. Потребительские расходы сохраняют положительное влияние, что свидетельствует о роли внутреннего спроса как драйвера кредитного рынка. Процент по потребительским кредитам в реальной модели имеет более умеренное влияние на объемы потребительских кредитов, чем в номинальной модели. Это говорит, о там, что на население Казахстана берут кредиты, несмотря на стоимость его обслуживания. Этому могут быть причиной несколько факторов:

- отсутствие других источников финансирования потребительских расходов;
- отсутствует финансовая грамотность для расчета долговой нагрузки при росте процентной ставки по потребительским кредитам;
- ожидание инфляционных шоков и др.

Как видно из таблицы 2 номинальная модель демонстрирует максимально возможное качество аппроксимации, в то время как реаль-

ная модель подтверждает устойчивость выявленных зависимостей после устранения инфляционного эффекта:

- объем потребительского кредитования имеет сильную зависимость от доходов населения и потребительской активности;

- инфляция оказывает положительное влияние на номинальные показатели кредитования;

- после корректировки данных обе модели демонстрируют высокую статистическую устойчивость;

- реальная модель подтверждает, что рост кредитования обусловлен не только инфляционными процессами, но и реальным ростом доходов.

Таблица 2 - Сравнительный анализ номинальной и реальной моделей

Показатель	Номинальная модель	Реальная модель
R^2	0,986	0,893
Качество аппроксимации	Очень высокое	Высокое
Учет инфляции	Нет	Да
Статистическая значимость	Высокая	Высокая
Примечание: составлено авторами		

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности многофакторной регрессионной модели в анализе динамики потребительского кредитования. Построенные номинальная и реальные модели подтверждают гипотезу о том, что на объемы потребительского кредитования прямо пропорциональны объемам доходов, и индексу потребительских цен.

Вместе с тем гипотеза о наличии обратной связи объемов потребительского кредитования и процентам по данной категории кредитов не подтвердилась, что требует дальнейших исследований с применением качественных и количественных методов оценки. Это связано с тем, что причинами сложившейся ситуации могут быть факторы социального и поведенческого характера, которые требуют иных методологических подходов в исследовании.

Таким образом, проведение корреляционно-регрессионного моделирования на основе агрегированных макроэкономических показателей может дать основу для прогнозирования объемов потребительского кредитования в РК и определить направления государственного регулирования кредитного рынка. Однако для системных изменений необходимо глубже изучить факторы социального характера, которые лежат в плоскости формирования финансового поведения и восприятия населения РК.

Финансирование.*Работа выполнена в рамках программно- целевого финансирования BR28713099-OT-25 - Разработка инновационного сервиса для минимизации экономического неравенства и повышения финансовой устойчивости граждан посредством персонализированного кредитного сервиса при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.*

Литература

1. Albacete, Nicolás, and Peter Lindner. ”Household Vulnerability in Austria–A Microeconomic Analysis based on the Household Finance and consumption survey. //Financial stability report, Oesterreichische Nationalbank (Austrian Central Bank). -2012.- Iss. (25). - P.57-73.-URL: RePEc: onb: oenbfs: y:2013: i:25: b:2.

2. Affinito, M., Santioni, R. & Tomassetti, L. Inside Household Debt: Disentangling Mortgages and Consumer Credit, and Household and Bank Factors. Evidence from Italy //Ital Econ. -2025.-Vol11(2). -P.773-814. DOI 10.1007/s40797-025-00319-4.

3. Republic of Kazakhstan: Selected Issues.//International Monetary Fund.-2025.- Vol.25(31).- 25 p.DOI 10.5089/9798229000253.002.

4. Takalo T. Regulation of short-term consumer credits //J. Banking Reg.-2019. -Vol.20.-P.348-354. DOI 10.1057/s41261-019-00098-w.

5. Madeira C. The double impact of deep social unrest and a pandemic: Evidence from Chile //Canadian Journal of Economics/Revue canadienne d' économique.-2022.-Vol.55(1).-P.135-171. DOI 10.1111/caje.12570.

6. Alper E. et al. Do interest rate controls work? Evidence from Kenya //Review of Development Economics. -2020. -Vol.24(3).-P.910-926. DOI 10.1111/rode.12675.

7. Bahadir B., Valev N. Catching up or drifting apart: Convergence of household and business credit in Europe //International Review of Economics Finance. -2017. -Vol.47.-P.101-114. DOI 10.1016/j.iref.2016.10.006.

8. Madeira C. The impact of interest rate ceilings on households' credit access: Evidence from a 2013 Chilean legislation// Banking & Finance. -2019.-Vol.106.-P.166-179. DOI 10.1016/j.jbankfin.2019.06.011.

9. Christelis D., Ehrmann M., Georgarakos D. Exploring differences in household debt across the United States and Euro Area countries // Money, Credit and Banking. -2021.-Vol.53(2-3). -P.477-501. DOI 10.1111/jmcb.12769.

10. Arango L. E., Cardona-Sosa L. Consumer credit in an emerging economy: Demand, supply, and liquidity restrictions //Emerging Markets Review. -2023.-Vol.54:100949. DOI 10.1016/j.ememar.2022.100949.

11. Tan B., Guo Y., Wu Y. The influence and mechanism of female-headed households on household debt risk: empirical evidence from China//Humanities and Social Sciences Communications.-2024.Vol.11:569 DOI 10.1057/s41599-024-03029-x.

12. Madeira C. Adverse selection, loan access and default behavior in the Chilean consumer debt market //Financial Innovation. -2023.-Vol.9(1)- P.1-29. DOI 10.1186/s40854-023-00458-6.

13. Sinyakov A. A., Shelovanova T. I. Demand for consumer loans in Russia: How strong is the interest rate channel of monetary policy? //Russian Journal of Economics. -2025.-Vol 11(1). -P.47-75. DOI 10.32609/j.ruje.11.145314.

14. Bolatov N. Perspectives of consumer lending in Kazakhstan //Journal of Media studies. - 2023.-Vol.63(2). - P.28-42. DOI 10.47344/sdubss.v63i2.1027.

15. Кредиты, выданные БВУ физическим лицам на потребительские цели, и ставки вознаграждения по ним, с 2015- 2024гг.//Статистика Национального банка РК. -URL:https://nationalbank.kz/ru/news/loans-to-economy-from-second-tier-banks/rubrics/1840. -Дата обращения: 12.02.2026г.

16. Среднедушевые номинальные денежные доходы и расходы населения по регионам Республики Казахстан с 2015- 2024гг.//Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. URL:https://stat.gov.kz/ru/industries/labor-and-income/stat-life/publications/346993/?sphrase_id=1959493.-Дата обращения: 12.02.2026.

17. Индекс цен и тарифов на потребительские товары по Республике Казахстан за 2015- 2024г-г. //Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформа-

м Республики Казахстан. URL:https://stat.gov.kz/ru/industries/economy/prices/publications/281448/?sphrase_id=1965472- Дата обращения:15.02.2026.

References

1. Albacete, Nicolás, and Peter Lindner. ”Household Vulnerability in Austria–A Microeconomic Analysis based on the Household Finance and consumption survey. //Financial stability report, Oesterreichische Nationalbank (Austrian Central Bank). -2012.- Iss. (25). - P.57-73.-URL: RePEc: onb: oenbfs: y:2013: i:25: b:2.

2. Affinito, M., Santioni, R. & Tomassetti, L. Inside Household Debt: Disentangling Mortgages and Consumer Credit, and Household and Bank Factors. Evidence from Italy //Ital Econ. -2025.-Vol11(2). -P.773-814. DOI 10.1007/s40797-025-00319-4.

3. Republic of Kazakhstan: Selected Issues.//International Monetary Fund.-2025.- Vol.25(31).- 25 p.DOI 10.5089/9798229000253.002.

4. Takalo T. Regulation of short-term consumer credits //J. Banking Reg.-2019. -Vol.20.-P.348-354. DOI 10.1057/s41261-019-00098-w.

5. Madeira C. The double impact of deep social unrest and a pandemic: Evidence from Chile //Canadian Journal of Economics/Revue canadienne d’ économique.-2022.-Vol.55(1).-P.135-171. DOI 10.1111/caje.12570.

6. Alper E. et al. Do interest rate controls work? Evidence from Kenya //Review of Development Economics. -2020. -Vol.24(3).-P.910-926. DOI 10.1111/rode.12675.

7. Bahadir B., Valev N. Catching up or drifting apart: Convergence of household and business credit in Europe //International Review of Economics Finance. -2017. -Vol.47.-P.101-114.

DOI 10.1016/j.iref.2016.10.006.

8. Madeira C. The impact of interest rate ceilings on households’ credit access: Evidence from a 2013 Chilean legislation// Banking & Finance. -2019.-Vol.106.-P.166-179. DOI 10.1016/j.jbankfin.2019.06.011.

9. Christelis D., Ehrmann M., Georgarakos D. Exploring differences in household debt across the United States and Euro Area countries // Money, Credit and Banking. -2021.-Vol.53(2-3). -P.477-501. DOI 10.1111/jmcb.12769.

10. Arango L. E., Cardona-Sosa L. Consumer credit in an emerging economy: Demand, supply, and liquidity restrictions //Emerging Markets Review. -2023.-Vol.54:100949. DOI 10.1016/j.ememar.2022.100949.

11. Tan B., Guo Y., Wu Y. The influence and mechanism of female-headed households on household debt risk: empirical evidence from China//Humanities and Social Sciences Communications.-2024.Vol.11:569 DOI 10.1057/s41599-024-03029-x.

12. Madeira C. Adverse selection, loan access and default behavior in the Chilean consumer debt market //Financial Innovation. -2023.-Vol.9(1)- P.1-29. DOI 10.1186/s40854-023-00458-6.

13. Sinyakov A. A., Shelovanova T. I. Demand for consumer loans in Russia: How strong is the interest rate channel of monetary policy? //Russian Journal of Economics. -2025.-Vol 11(1). -P.47-75. DOI 10.32609/j.ruje.11.145314.

14. Bolatov N. Perspectives of consumer lending in Kazakhstan //Journal of Media studies. - 2023.-Vol.63(2). - P.28-42. DOI 10.47344/sdubss.v63i2.1027.

15. Kredity, vydannye BVU fizicheskim licam na potrebitel’ skie celi, i stavki voznagrazhdenija po nim, s 2015- 2024gg.//Statistika Nacional’ nogo banka RK. -URL:https://nationalbank.kz/ru/news/loans-to-economy-from-second-tier-banks/rubrics/1840. -Data obrashhenija: 12.02.2026g. [in Russian]

16. Srednedushevye nominal’ nye denezhnye dohody i rashody naselenija po regionam Respubliki Kazahstan s 2015- 2024gg. //Bjuro nacional’ noj statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniju i reformam Respubliki Kazahstan. URL:https://stat.gov.kz/ru/industries/labor-and-income/stat-life/publications/346993/? sphrase_id=1959493.-Data obrashhenija: 12.02.2026. [in Russian]

17. Indeks cen i tarifov na potrebitel’ skie tovary po Respublike Kazahstan za 2015- 2024gg. //Bjuro nacional’ noj statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniju i reformam Respubliki Kazahstan. URL:https://stat.gov.kz/ru/industries/economy/prices/publications/281448/? sphrase_id=1965472- Data obrashhenija:15.02.2026. [in Russian]

***Сведения об* авторах**

Тымбаева Ж.М.-к.э.н., ассоц.профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет им.К.Сатпаева, Алматы, Казахстан, e-mail:z.tymbayeva@satbayev.university;

Гафиатуллин Ф.Т. - начальник IT, ТОО ”Online Shopping”, Алматы, Казахстан, e-mail: Farkhad.Gafiatullin@dauscher.kz;

Амралинова Б.Б. - PhD, ассоц. профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет им.К.Сатпаева, Алматы, Казахстан, e-mail: b.amralinova@satbayev.university;

Муханова Г.С. - к.т.н., доцент, Казахский национальный исследовательский технический университет им.К.Сатпаева, Алматы, Казахстан, e-mail: g.mukhanova@satbayev.university;

Турегельдинова А.Ж. - к.э.н., PhD, ассоц. профессор, Казахский национальный исследовательский

технический университет им.К.Сатпаева, Алматы, Казахстан, e-mail: a.turegeldinova@satbayev.university.

Information about the authors

Tymbayeva Zh.- Candidate of Economic Sciences, associate professor, K. Satbayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: z.tymbayeva@satbayev.university;

Gafiatullin F.T. - head of IT, Online Shopping LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail: Farkhad.Gafiatullin@dauscher.kz;

Amralinova B. - PhD, associate professor, K. Satbayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: b.amralinova@satbayev.university;

Mukhanova G. - candidate of technical science, associate professor, K. Satbayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan, e-mail:g.mukhanova@satbayev.university;

Turegeldinova A. - Candidate of Economic Sciences, PhD, associate professor, K. Satbayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan,e-mail:a.turegeldinova@satbayev.university,

МРНТИ 06.71.07 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1530**

МАКРОЭКОНОМИКАЛЫҚ ТҰРАҚСЫЗДЫҚ ЖАҒДАЙЫНДА ҰН ТАРТУ КӘСІПОРЫНДАРЫНЫҢ ҚАРЖЫЛЫҚ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН ҚАЛЫПТАСТЫРУ ФАКТОРЛАРЫ (Шымкент қаласының мысалында)

[1]А.Н. Сатыбалдиева, [1]Г.Е. Мауленкулова✉, [1]А.Н. Айтымбетова, [2]А.А. Муталиева, [1]Г.Х. Умарова

[1]М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,
[2]Аймақтық инновациялық университет, Шымкент, Қазақстан

✉ *Корреспондент-автор: maylenkylova@mail.ru*

Мақалада макроэкономикалық тұрақсыздық жағдайында Шымкент қаласының ұн тарту кәсіпорындарының қаржылық тұрақтылығын қалыптастыру факторлары кешенді түрде зерттеледі. Қаржылық тұрақтылықтың теориялық мәні нақтыланып, салалық ерекшеліктер ескерілген факторлық жіктеу ұсынылады. Қазақстанның астық нарығындағы өндірістік және экспорттық үрдістер негізінде ұн тарту кәсіпорындарының қаржылық орнықтылығына әсер ететін ішкі, сыртқы және макроэкономикалық факторлар жүйеленді. Ел экономикасының тұрақты өсуі агроөнеркәсіптік кешен құрамындағы ұн тартатын кәсіпорындардың тиімді қызметімен тікелей байланысты екендігі көрсетілген.

Шымкент қаласының ұн тарту саласы өңірдің қайта өңдеу өнеркәсібі құрылымында елеулі орын алады және әлеуметтік маңызы бар өнім өндіруді қамтамасыз ететін стратегиялық салалардың бірі болып табылады. Сонымен қатар сала кәсіпорындарының өндірістік әлеуеті, шикізатпен қамтамасыз етілуі және экспорттық мүмкіндіктері талданды. Зерттеу барысында қаржылық тұрақтылыққа әсер ететін негізгі тәуекелдер мен шектеулер анықталып, оларды басқару тетіктері қарастырылды. Нәтижесінде кәсіпорындардың қаржылық тұрақтылығын арттырудың стратегиялық бағыттары айқындалып, өңірлік деңгейде тиімді басқару шешімдерін қабылдауға арналған практикалық ұсынымдар ұсынылды.

Зерттеу нәтижелері ұн тарту саласы кәсіпорындарының қаржылық стратегиясын әзірлеу кезінде және өңірлік экономикалық саясатты қалыптастыруда пайдаланылуы мүмкін.

Түйі сөздер: қаржылық тұрақтылық, ұн тарту өнеркәсібі, капитал құрылымы, макроэкономикалық тәуекелдер, экспорттық әлеует, өңірлік экономика.

В УСЛОВИЯХ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ФИНАНСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ МУКОМОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ (На примере города Шымкент)

[1]А.Н. Сатыбалдиева, [1]Г.Е. Мауленкулова✉, [1]А.Н. Айтымбетова, [2]А.А Муталиева, [1]Г.Х. Умарова

[1]Южно Казахстанский университет им. М.Ауэзова, Шымкент Казахстан,
[2]Региональный инновационный университет, Шымкент Казахстан,
e-mail: gulbana2026@mail.ru

В статье комплексно изучаются факторы формирования финансовой устойчивости мукомольных предприятий города Шымкента в условиях макроэкономической нестабильности. Уточняется теоретическое значение финансовой устойчивости и предлагается факторная классификация с учетом отраслевых особенностей. На основе производственных и экспортных тенденций на зерновом рынке Казахстана систематизированы внутренние, внешние и макроэкономические факторы, влияющие на финансовую устойчивость мукомольных предприятий. Показано, что устойчивый рост экономики страны напрямую связан с эффективной деятельностью мукомольных предприятий в составе агропромышленного комплекса.

Мукомольная отрасль города Шымкента занимает значительное место в структуре перерабатывающей промышленности региона и является одной из стратегических отраслей, обеспечивающих производство социально значимой продукции. Также были проанализированы производственный потенциал предприятий отрасли, обеспеченность сырьем и экспортные возможности. В ходе исследования были выявлены основные риски и ограничения, влияющие на финансовую стабильность, и рассмотрены механизмы их управления. В результате были определены стратегические направления повышения финансовой устойчивости предприятий и представлены практические рекомендации для принятия эффективных управленческих решений на региональном уровне.

Результаты исследования могут быть использованы при разработке финансовой стратегии предприятий мукомольной отрасли и формировании региональной экономической политики.

Ключевые слова: финансовая стабильность, мукомольная промышленность, структура капитала, макроэкономические риски, экспортный потенциал, региональная экономика.

IN CONDITIONS OF MACROECONOMIC INSTABILITY FACTORS OF FORMATION OF FINANCIAL STABILITY OF FLOUR MILLING ENTERPRISES(Using the example of the city of Shymkent)

[1]A.N. Satybaldieva, [1]G.E. Maulenkulova✉, [1]A.N.Aitymbetova, [2]A.A Mutaliyeva, [1]G.H. Umarova

[1]M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan,
[2]Regional Innovation University, Shymkent, Kazakhstan,
e-mail: gulbana2026@mail.ru

The article comprehensively studies the factors of the formation of financial stability of flour mills in the city of Shymkent in conditions of macroeconomic instability. The theoretical value of financial stability is being clarified and factor classification is proposed, taking into account industry characteristics. Based on production and export trends in the grain market of Kazakhstan, internal, external and macroeconomic factors affecting the financial stability of milling enterprises are systematized. It is shown that the steady growth of the country' s economy is directly related to the effective activities of flour milling enterprises as part of the agro-industrial complex.

The flour milling industry of the city of Shymkent occupies a significant place in the structure of the processing industry of the region and is one of the strategic industries that ensure the production of socially significant products. The production potential of enterprises in the industry, the supply of raw materials and export opportunities were also analyzed. The study identified the main risks and limitations affecting financial stability, and considered the mechanisms for their management. As a result, strategic directions for improving the financial stability of enterprises were identified and practical recommendations were presented for making effective management decisions at the regional level.

The results of the study can be used in the development of the financial strategy of enterprises in the milling industry and the formation of regional economic policy.

Key words: financial stability, milling industry, capital structure, macroeconomic risks, export potential, regional economy.

Кіріспе. Ұн тарту өнеркәсібі Қазақстанның агроөнеркәсіптік кешенінің маңызды буыны болып табылады. Соңғы жылдары экспорттық бағыттардың өзгеруі, астық нарығындағы баға конъюнктурасының құбылмалылығы және өңдеуші кәсіпорындар арасындағы бәсекелестіктің күшеюі саланың қаржылық нәтижелеріне елеулі ықпал етуде. Осыған байланысты өңірлік деңгейде, атап айтқанда Шымкент қаласы мысалында қаржылық тұрақтылықты қалыптастыру факторларын жүйелі талдау қажеттілігі туындайды.

Зерттеудің мақсаты-Шымкент қаласының ұн тарту кәсіпорындарының қаржылық тұрақтылығына әсер ететін негізгі факторларды аны-

қтау және оларды басқарудың тиімді бағыттарын негіздеу.

Қаржы нарықтарының тұрақсыздығымен, инфляциялық процестермен, валюта бағамдарының ауытқуымен және өндірістік шығындардың өсуімен сипатталатын күшейіп келе жатқан макроэкономикалық турбуленттілік жағдайында экономиканың нақты секторы кәсіпорындарының қаржылық тұрақтылығын қамтамасыз ету проблемасы ерекше өзекті болып отыр. Ұн тарту саласы Қазақстан Республикасының азық-түлік қауіпсіздігінің стратегиялық маңызды құрамдас бөлігі бола отырып, едәуір дәрежеде сыртқы макроэкономикалық факторлардың да, ішкі өндірістік-қаржылық шектеулердің де ықпалына ұшырайды.

Ұн тарту кәсіпорындарының қаржылық тұрақтылығы олардың қаржылық міндеттемелерін уақтылы орындау, төлем қабілетін қолдау, өндірістік әлеуетті ұдайы өндіруді қамтамасыз ету және сыртқы ортаның өзгеріп отыратын жағдайларына бейімделу қабілетін айқындайды. Экономикалық дамудың өңірлік саралануы жағдайында жекелеген аумақтар деңгейінде қаржылық тұрақтылықты қалыптастыру факторларын, атап айтқанда, елдің қайта өңдеу өнеркәсібінің негізгі орталықтарының бірі-Шымкент қаласын зерттеу ерекше маңызға ие болады.

Ұн тарту кәсіпорындарының қаржылық тұрақтылығын қалыптастыру мәселелері отандық және шетелдік ғылыми әдебиеттерде белсенді зерттелуде.

Қаржылық тұрақтылық теориясы Модильяны, Миллер [1] және Брейли, Майерс [2] еңбектерінде дамыды.Олардың зерттеулерінде кәсіпорынның қаржылық тұрақтылығы капитал құрылымының тиімділігімен, өтімділік деңгейімен, тәуекелдерді басқарумен және макроэкономикалық ортаның өзгерістеріне бейімделу қабілетімен байланысты. Қазіргі жағдайда қаржылық тұрақтылыққа сондай-ақ инфляция, валюта бағамы, пайыздық ставкалар және шикізат нарықтарындағы өзгерістер әсер етеді.

Д.А.Зюкин, З.И.Латышева1көптеген кәсіпорындарда меншікті капитал үлесі төмен, қысқа мерзімді қарыздар басым, бұл қаржылық тұрақтылықтың әлсіздігін көрсетеді.Қорытындысында авторлар ұн тарту өнеркәсібі стратегиялық маңызды сала болғандықтан, оның қаржылық тұрақтылығына мемлекет тарапынан назар аудару қажет деген тұжырым жасайды [3].

Е.Е.Гриднева зерттеуінде ұн тарту өнеркәсібінің даму деңгейі, экспорттық әлеуеті, негізгі проблемалары және болашақ даму бағыттары жан-жақты қарастырылған [4].

А.М. Дүйсебаева шағын диірмендерді біріктіру қажет деген қорытынды жасайды, себебі бәсекеге қабілетті әрі стандартқа сай сапалы ұнды негізінен ірі және орта (тәулігіне 6000 т және одан жоғары) кәсіпорындар ғана өндіре алады.Мемлекеттік реттеу, баға саясаты, субсидиялау және логистиканы жетілдіру мәселелері қарастырылған. Яғни, ұн тарту саласының өндірістік, аймақтық, баға және құрылымдық аспектілері терең талданып, саланы ірілендіру мен тиімді басқару қажеттілігі негізделген [5].

Г.К.Джолдасбаева экспорттық стратегияны жетілдіру, мемлекеттік қолдауды күшейту, өңдеуді тереңдету және кәсіпорындардың кооперациясын дамыту қажет деген тұжырым жасайды. Негізінен ұн экспортына негізделген даму моделі сарқылуда. Саланың бәсекеге қабілеттілігін сақтау үшін ең алдымен Қытай нарығына және басқа да сыртқы нарықтарға бағдарлана отырып, астықты (крахмал, глютен, жем) терең өңдеуге көшу қажет. Басқаша айтқанда, технологиялық жаңғырту мен қайта өңделген өнімдерді шығару экспорттық тартымдылықты және саланың елдің экономикалық өсуіне қосқан үлесін айтарлықтай арттыратынын дәлелдейді [6].

T.Djumanov зерттеуінде ауылшаруашылық кәсіпорындарының жұмыс тиімділігінің негізгі көрсеткіші ретінде пайданың рөлі түсіндіріледі. Аграрлық кәсіпорындардың қаржылық тұрақтылығы және пайданың өсуіне әсер ететін факторлар (шығындарды азайту, өнімділікті арттыру, өнім сапасын жақсарту) талданады. Өзбекстандағы ауыл шаруашылығы реформалары, фермерлерді қолдау және аграрлық кластерлерді дамыту қарастырылған.Нарықтық экономика мен

цифрландырудың аграрлық сектордың дамуына әсері сипатталған.Соңында технологияларды енгізуді, бәсекеге қабілеттілікті арттыруды және кәсіпорындар арасындағы ынтымақтастықты дамытуды қоса алғанда, рентабельділікті арттыру және ауыл шаруашылығын дамыту бойынша ұсыныстар беріледі [7].

Okhota et al. басқару, технологиялық және экономикалық компоненттерді қамтитын кешенді тәсілдің маңыздылығын баса көрсете отырып, АӨК кәсіпорындарының бәсекеге қабілеттілігін арттырудың инновациялық тетігінің тұжырымдамалық көп компонентті моделін әзірлейді [8].

Кәсіпорындардың қаржылық тұрақтылығы мәселелеріне арналған ғылыми жұмыстардың едәуір санының болуына қарамастан, ұн тарту кәсіпорындарының қаржылық жай-күйіне факторлардың әсерінің салалық және өңірлік ерекшеліктері жеткіліксіз зерделенген күйінде қалып отыр. Бұл Шымкент қаласының ұн тарту саласы кәсіпорындары қызметінің ерекшелігін ескере отырып, қаржылық тұрақтылықты қалыптастыру факторларына кешенді талдау жүргізу қажеттігін негіздейді.

Материалдар мен әдістер Мақаланың объектісі Шымкент қаласының ұн тарту кәсіпорындары болып табылады. Ақпараттық база ретінде ұлттық статистика органдарының мәліметтері, салалық талдамалық материалдар және өңірлік өндірістік көрсеткіштер пайдаланылды. Зерттеуде жүйелі, салыстырмалы және экономикалық-статистикалық талдау әдістері қолданылды.

Нәтижелер мен талқылау. Қаржылық тұрақтылық-кәсіпорынның ұзақ мерзімді даму перспективасында төлем қабілеттілігін, қаржылық тәуелсіздігін және капитал құрылымының теңгерімділігін сақтай отырып, сыртқы өзгерістерге бейімделу қабілетін сипаттайтын кешенді экономикалық категория.

Ұн тарту кәсіпорындары үшін қаржылық тұрақтылық келесі компоненттер арқылы айқындалады:меншікті және қарыз капиталының оңтайлы арақатынасы;өтімділік деңгейі;- рентабельділік көрсеткіштері; айналым қаражатының жеткіліктілігі; қаржылық тәуекелдерді басқару тиімділігі.

2025 жылдың алғашқы айларында Қазақстанда ұн өндірісінің өсу динамикасы байқалды. Өндіріс көлемінің артуы ішкі сұраныстың тұрақтылығын және экспорттық белсенділіктің сақталғанын көрсетеді.

Шымкент қаласы өндіріс көлемі бойынша жетекші өңірлердің бірі болып отыр. Бұл өңірде өндірістің өсуі кәсіпорындардың өндірістік әлеуетінің кеңейгенін және нарықтағы белсенділіктің артқанын білдіреді. Шымкент қаласының кәсіпорындары үшін астық бағасының құбылмалылығы мен айналым капиталына маусымдық жүктеме негізгі тәуекел көздері болып табылады.

Сонымен қатар экспорт құрылымында дәстүрлі нарықтармен қатар жаңа бағыттардың қалыптасуы байқалады.Дегенмен,экспорт ағындарының жекелеген елдерге жоғары шоғырлануы салалық тәуекелдерді күшейтеді.

1-кесте. Қаржылық тұрақтылыққа әсер ететін факторлар

1. Ішкі факторлары	2. Сыртқы факторлар	3.Макроэкономикалық факторлар
- капитал құрылымы; - рентабельділік деңгейі; - шығындарды басқару тиімділігі; - айналым активтерін пайдалану сапасы; - қаржылық жоспарлау жүйесінің жетілдірілуі.	- астық нарығындағы баға конъюнктурасы; - бәсекелестік деңгейі; - кредиттік ресурстардың қолжетімділігі; - мемлекеттік реттеу шаралары.	- инфляция; - пайыздық мөлшерлеме; - валюта бағамы; - логистикалық инфрақұрылым жағдайы.

Дереккөз: [9]

Кәсіпорынның қаржылық тұрақтылығы оның қаржылық жай-күйінің негізгі сипаттамаларының бірі болып табылады және шаруашылық жүргізуші субъектінің өзгермелі сыртқы орта жағдайында төлем қабілеттілігі мен қаржылық тепе-теңдікті сақтай отырып, ұзақ мерзімді перспективада тиімді жұмыс істеу және даму қабілетін көрсетеді. Қазіргі заманғы экономикалық әдебиетте қаржылық тұрақтылық ұғымы осы санаттың көп қырлылығына байланысты әртүрлі тұрғыдан қаралады.

Қаржы менеджменті тұрғысынан қаржылық орнықтылық кәсіпорынның қаржы ресурстарын өндірістік процестің үздіксіздігін, контрагенттер алдындағы міндеттемелердің орындалуын және бизнес құнының тұрақты өсуін қамтамасыз ететіндей етіп қалыптастыру және пайдалану қабілеті ретінде түсіндіріледі. Бірқатар зерттеушілер қаржылық орнықтылықты қаржылық тәуекелдерді барынша азайтуды және рентабельділіктің қолайлы деңгейін қолдауды қамтамасыз ететін меншікті және қарыз капиталының оңтайлы арақатынасымен байланыстырады.

Макроэкономикалық тұрақсыздық жағдайында қаржылық тұрақтылық ерекше мәнге ие болады, өйткені кәсіпорындар шикізат бағасының өсуіне, қаржы ресурстарына қол жеткізудің шектелуіне, валюта бағамдарының ауытқуына және төлем қабілетті сұраныстың өзгеруіне тап болады. Ұн тарту кәсіпорындары үшін осы факторлардың аса маңызды мәні бар, өйткені өнімнің өзіндік құны көбінесе астық пен энергия ресурстарының бағасына, ал қаржылық нәтижелер - өткізу арналарының тұрақтылығы мен мемлекеттік баға саясатына байланысты[9].

Осылайша, кәсіпорынның қаржылық тұрақтылығын мыналарды көрсететін кешенді сипаттама ретінде қарастыру орынды:

- кәсіпорынның төлем қабілеттілігін сақтау қабілеті;

- сыртқы көздерден қаржылық тәуелсіздігі;

- капитал құрылымының тұрақтылығы;

- сыртқы және ішкі қаржылық тәуекелдерге қарсы тұру қабілеті.

Ұн тарту саласына қатысты қаржылық тұрақтылық ішкі басқару шешімдерімен ғана емес, салалық және макроэкономикалық факторлардың әсерімен де айқындалады, бұл оны талдауға кешенді тәсілді талап етеді.

Кәсіпорынның қаржылық тұрақтылығы пайда болу көзі, басқарылу дәрежесі және ықпал ету сипаты бойынша ерекшеленетін факторлар жиынтығының әсерінен қалыптасады. Ғылыми зерттеулерде факторларды жіктеуге бірыңғай тәсіл жоқ, бұл салалық ерекшелікті ескере отырып, оларды жүйелеу қажеттілігін негіздейді[9].

Шымкент қаласының ұн тарту кәсіпорындары үшін макроэкономикалық факторлар әсерін тигізеді, өйткені өңір өңдеуші кәсіпорындардың жоғары шоғырлануымен және өңіраралық астық жеткізілімдеріне тәуелділікпен сипатталады.

Ұн тарту саласы елдің азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ететін экономиканың әлеуметтік маңызы бар салаларының қатарына жатады. Ұн тарту кәсіпорындарының қызметінің олардың қаржылық тұрақтылығын қалыптастыруға тікелей әсер ететін бірқатар ерекшеліктері бар.

Біріншіден, ұн тарту кәсіпорындары өндірістің жоғары материал сыйымдылығымен сипатталады, бұл өнімнің өзіндік құны құрылымындағы шикізат шығындарының едәуір үлесін негіздейді. Астық бағасының ауытқуы қаржылық нәтижелерге және кәсіпорындардың рентабельділік деңгейіне тікелей әсер етеді.

Екіншіден, сала үшін астық дайындаумен және сақтаумен байланысты маусымдық факторларға жоғары тәуелділік тән, бұл айналым капиталының едәуір көлемін талап етеді және қарыз ресурстарына қажеттілікті арттырады.

Үшіншіден, ұн тарту кәсіпорындары қатаң баға реттеу және жоғары бәсекелестік жағдайында жұмыс істейді, бұл бағаның көтерілу мүмкіндігін шектейді және қаржы саясатының икемділігін төмендетеді.

Бұдан басқа, макроэкономикалық тұрақсыздық жағдайында инфляциямен, пайыздық ставкалардың өсуімен және төлемге қабілетті сұраныстың төмендеуімен байланысты қаржылық тәуекелдер күшейеді. Бұл қаржылық орнықтылықты басқаруға қойылатын талаптарды арттырады және оны қалыптастырудың түйінді факторларын анықтау қажеттілігін өзектендіреді.

Осылайша, ұн тарту кәсіпорындарының қаржылық тұрақтылығы ішкі, сыртқы және макроэкономикалық факторлар жиынтығының әсерімен қалыптасады, оларды есепке алу өңірлік аспектіде қаржылық басқарудың тиімді стратегияларын әзірлеудің қажетті шарты болып табылады.

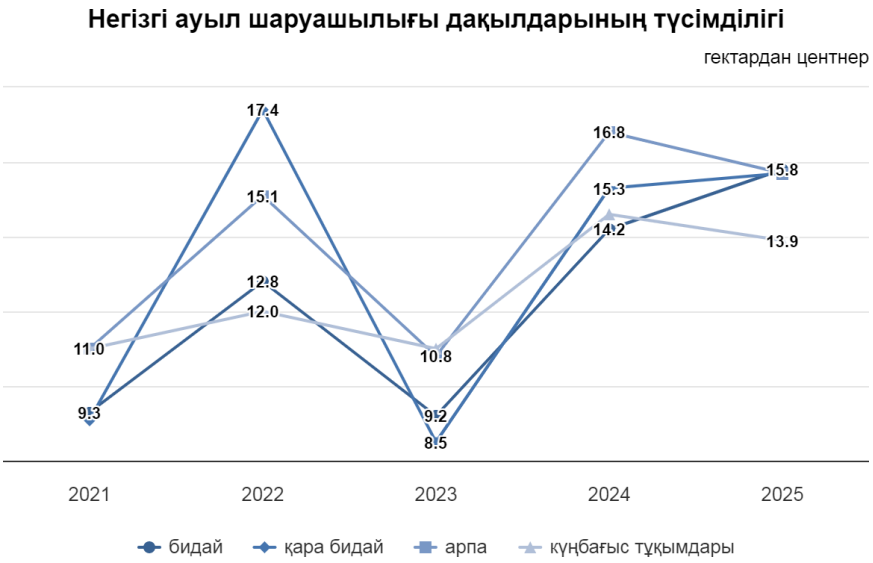
Шымкент қаласының ұн тарту кәсіпорындарының қызметі астық жеткізуге жоғары тәуелділікпен, өнімнің өзіндік құнындағы материалдық шығындардың едәуір үлесімен, сондай-ақ бағалық маневр жасау мүмкіндіктерінің шектеулігімен сипатталады. Макроэкономикалық тұрақсыздық жағдайында осы ерекшеліктер қаржылық тәуекелдердің әсерін күшейтеді және кәсіпорындардың қаржылық тұрақтылығын қамтамасыз етуге қойылатын талаптарды арттырады.

Өңірдің ұн тарту кәсіпорындарының қаржылық жай-күйі ішкі факторлардың (капитал құрылымы, ресурстарды пайдалану тиімділігі), сол сияқты инфляциялық процестерді, валюта бағамының өзгеруі мен кредит беру шарттарын қоса алғанда, сыртқы және макроэкономикалық факторлардың ықпалымен қалыптасады.

Ұн тарту саласында жалпы өндірістік қуаты жылына 9 млн тоннаға жуық 270-ке жуық кәсіпорын жұмыс істейді.Ауа-райының өзгеруі бидай өндірісінің өзгеруіне әкеледі, ал пандемия мен қақтығыстар жеткізу тізбегінің бұзылуына байланысты жаһандық дүрбелең сатып алуды тудырады. Қазіргі уақытта бидайдың ең ірі өндірушісі-Қытай, одан кейін ЕО, Үндістан және Ресей.

Соңғы жылдары Қазақстанның астық және ұн тарту саласы құрылымдық өзгерістер кезеңін бастан өткеріп отыр. Бұған дейін Орталық Азия елдері Қазақстаннан дайын ұн өнімдерін импорттауға басымдық берген болса, қазіргі таңда бұл мемлекеттер бидайды шикізат түрінде сатып алып, оны өз аумақтарында өңдеуге көшті. Аталған үрдіс отандық ұн тарту кәсіпорындарының өткізу нарығын тарылтып, саланың экономикалық тұрақтылығына елеулі ықпал етуде.

Экспорттық бағыттағы өзгерістер ішкі ұн өңдеу кәсіпорындарының өндірістік жүктемесінің төмендеуіне алып келді. Нәтижесінде, шикізатқа деген сұраныс құрылымы өзгеріп, бидайды ішкі нарықта тиімді бағамен тұрақты жеткізу мәселесі алдыңғы қатарға шықты. Осы жағдайға байланысты «Азық-түлік келісімшарт корпорациясы» ұлттық операторы ұн тарту кәсіпорындарын нарықтық бағамен астықпен қамтамасыз ету тетіктерін іске қосты.



1-сурет. Негізгі ауыл шаруашылығы дақылдарының түсімділігі. Дереккөз [10]

Жоғарыда көрсетілген сурет 1-де 2021-2025 жылдар аралығындағы негізгі ауыл шаруашылығы дақылдарының (бидай, қара бидай, арпа, күнбағыс тұқымдары) гектардан алынатын өнімділігі көрсетілген. Жалпы динамикада құбылмалы сипат бар: 2022 және 2024 жылдары өсу, 2023 жылы төмендеу, ал 2025 жылы тұрақтану үрдісі байқалады.

Қазақстан Республикасы Ауыл шаруашылығы министрлігінің деректеріне сәйкес, ішкі астық нарығындағы қор көлемі тұрақты деңгейде сақталып отыр. Қолда бар астық қоры ұн тарту, мал және құс шаруашылығы секілді негізгі аграрлық салалардың ішкі сұранысын толық қамтамасыз етуге жеткілікті.

2025 жылғы 19 маусымдағы жағдай бойынша:

- 3-класс бидайының орташа бағасы-ҚҚС-пен тоннасына 100 000 теңге;

- 4-класс бидайының бағасы-тоннасына 95 000 теңге.

2025 жылдың көктем айларында бидайға деген сұраныстың артуы бағаның біршама өсуіне ықпал етті. Алайда 2024 жылғы қарашамен салыстырғанда баға өсімі 25%-дан аспады және бұл сатып алу белсенділігінің төмендеуіне әкелген жоқ.

Жыл басынан бері «Азық-түлік келісімшарт корпорациясы» 483,6 мың тонна астық өткізген. Негізгі сатып алушылар қатарында:

- ұн тарту кәсіпорындары;

- қайта өңдеу зауыттары;

- мал және құс шаруашылығы субъектілері бар.

Бұл көрсеткіштер ішкі нарықта астыққа деген тұрақты сұраныстың сақталғанын көрсетеді.

2024 жылдың күзінде мол өнім мен ұсыныстың артуы бағаның одан әрі төмендеуіне әсер етті. Ал 2025 жылдың көктемінде сұраныстың жандануы нәтижесінде бидай бағасы біртіндеп өсе бастады.

Қазіргі уақытта «Азық-түлік келісімшарт корпорациясының» қорында 1,1 млн тонна астық бар, оның ішінде:

- 500 мың тоннасы – азық-түлікке арналған тұрақты қор;

- 200 мың тоннасы – мал азығына арналған қор.

2025 жылдың маусым айының басындағы мәліметке сәйкес, Қазақстандағы жалпы бидай қоры 7,37 млн тоннаны құрайды. Оның ішінде:

- 2,7 млн тоннасы – өсімдік шаруашылығымен айналысатын заңды тұлғаларда;

- 2,6 млн тоннасы – элеваторларда;

- 818 мың тоннасы – ұн тарту және жарма кәсіпорындарында;

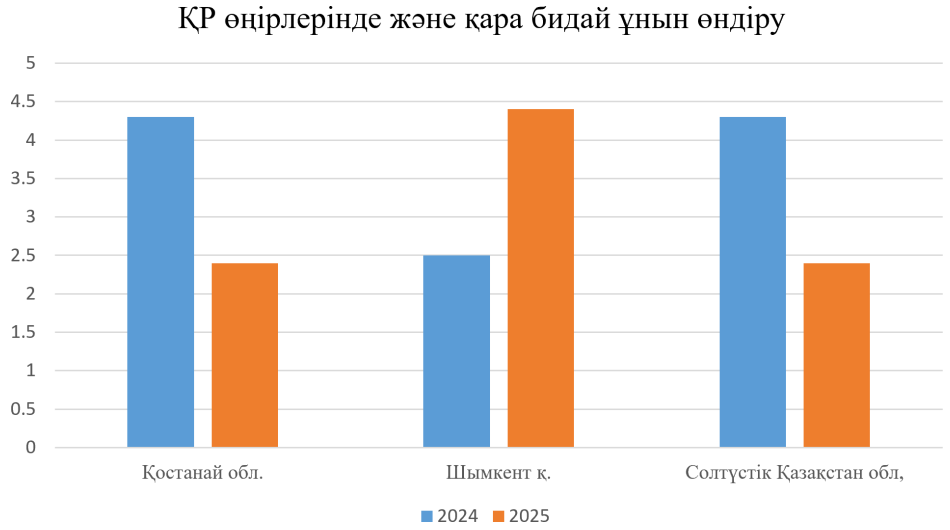
- 167 мың тоннасы – көтерме сауда субъектілері мен өзге иелердің қарамағында. Жылдық ішкі тұтыну көлемі шамамен 6 млн тонна деңгейінде бағаланады.

Жоғарыда келтірілген деректер Қазақстандағы астық нарығының тұрақты екенін және ішкі сұранысты толық қамтамасыз етіп қана қоймай, экспорттық әлеуетті де сақтауға мүмкіндік бар екенін көрсетеді.2024 жылы өңдеуден кейінгі салмақта 25,2 млн тонна астық жиналып, оның ішінде 18,6 млн тоннасы бидай болды.

Маркетингтік жыл барысында ұн тарту және мал шаруашылығы салалары үшін қолайлы баға деңгейі сақталып отыр. Қажет болған жағдайда ұн тарту кәсіпорындары ұлттық оператор-«Азық-түлік келісімшарт корпорациясының» тұрақтандыру қорына жүгіну арқылы шикізатпен үздіксіз қамтамасыз етіле алады [8].

Шымкент қаласында орналасқан «Pioneer Grain Products» ЖШС-еліміздегі және Орталық Азиядағы ең ірі ұн өндіруші кәсіпорындардың бірі. Кәсіпорын тәулігіне 1200 тонна астық өңдеп, жоғары сапалы ұн өнімдерін ішкі нарықпен қатар шетелге экспорттауда. Өндірістің тұрақты дамуына «Бәйтерек» Холдингінің еншілес ұйымы «Аграрлық несие корпорациясы» АҚ қаржылай қолдау көрсетіп отыр. «Агробизнес» бағдарламасы аясында 5% жеңілдетілген несие компанияның айналым қаражатын толықтыруға мүмкіндік берген. Бұл қолдау отандық өнімнің бәсекеге қабілеттілігін арттырып, өңдеу өнеркәсібі мен ауыл шаруашылығы саласының дамуына серпін беруде. «Green House», «Санжар», «Пионер» және «Green Product» 2025 жылдың I тоқсанында Қазақстанда 821 000 тонна ұн өндірілді.Шымкент қаласында 77,8 мың тонна өндіріс. Шымкенттегі жылдық өндіріс көлемі шамамен 200 000 тонна.

Конец формы



2-сурет. Қазақстандағы ұн тарту саласының өндірістік және экспорттық динамикасы (2025 жыл) [10]

2025 жылдың қаңтар-ақпан айларында Қазақстанда 530 мың тонна бидай және қарабидай-бидай ұны өндірілді, бұл 2024 жылдың сәйкес кезеңімен салыстырғанда 6%-ға жоғары. Ақпан айында өндіріс көлемі 285 мың тоннаға жетіп, соңғы төрт айдағы ең жоғары көрсеткіш тіркелді.

Ұн өндірісінің негізгі көлемі дәстүрлі астықты өңірлерге шоғырланған. Қостанай облысы көшбасшылық позициясын сақтауда, ал Шымкент қаласы мен Солтүстік Қазақстан облысында өндірістің жедел өсуі байқалады.

2-кесте. Негізгі өңірлер бойынша ұн өндірісі 2025 ж. қаңтар-ақпан

Өңір	Өндіріс, мың т	2024 ж. салыстырмалы өзгеріс
Қостанай облысы	163	+3 мың т
Солтүстік Қазақстан обл.	78,5	+8,2 мың т
Шымкент қ.	77,8	+ 25 мың т
Дереккөз:[11]		

Өңірлік тұрғыда Қостанай облысы ұн өндірісі бойынша жетекші позициясын сақтап отыр.2025 жылдың алғашқы екі айында аталған өңірде 163 мың тонна ұн өндірілген, бұл өткен жылғы 160 мың тоннамен салыстырғанда шамалы өсімді көрсетеді. Солтүстік Қазақстан облысында өндіріс көлемі 78,5 мың тоннаны құрап, 2024 жылғы 70,3 мың тоннамен салыстырғанда елеулі өсім байқалды. Шымкент қаласында ұн өндірісі айтарлықтай артқан: 2025 жылдың қаңтар–ақпан айларында 77,8 мың тонна ұн өндіріліп, өткен жылғы 53 мың тоннамен салыстырғанда шамамен 25 мың тоннаға артық өнім алынған.

Ұн тарту саласындағы өндірістік өсім отандық өңдеуші өнеркәсіптің даму үрдісін және астықты терең өңдеу әлеуетінің артып келе жатқанын көрсетеді. Негізгі өңірлердегі өндіріс көлемінің ұлғаюы, сондай-ақ ақпан айындағы рекордтық көрсеткіштер саланың экспорттық мүмкіндіктерінің кеңейіп отырғанын айғақтайды.

Қазақстандық бидай ұны экспорты да оң динамика көрсетті.2024 жылғы қазан айында (ЕАЭО елдерін есептемегенде) экспорт көлемі қыркүйек айымен салыстырғанда 3%-ға немесе 5,6 мың тоннаға өсіп, 173,4 мың тоннаға жетті. Қазақстандық ұнның дәстүрлі импорттаушы елдерінің басым бөлігі сатып алу көлемін арттырған. Атап айтқанда, Тәжікстанға экспорт 18%-ға өсіп, 4,6 мың тоннаны, Өзбекстанға-32%-ға артып, 39,7 мың тоннаны, Қытайға-1,9 есеге ұлғайып, 3,3 мың тоннаны, Ауғанстанға-23%-ға өсіп, 112,1 мың тоннаны құрады. Тек Түрікменстанға жеткізілім көлемі 9%-ға қысқарып, 13,7 мың тоннаға дейін төмендеген [11].

Астық одағының деректеріне сәйкес, маркетингтік жылдың басынан қыркүйек–қазан айларында қазақстандық бидай ұны экспорты 341,2 мың тоннаны құрады, бұл өткен маркетингтік жылдың сәйкес кезеңімен салыстырғанда 5%-ға төмен. Экспорт көлемінің қысқаруы Өзбекстан, Тәжікстан және Ауғанстан бағыттарында байқалды. Сонымен қатар, Ауғанстан нарығында қазақстандық және өзбек ұндары арасындағы бәсекелестіктің күшеюі, сондай-ақ Иран мен Ресейден жеткізілімдердің артуы атап өтіледі.

Сонымен бірге, ағымдағы маркетингтік жылы Түрікменстанға, Қырғызстанға және Қытайға жеткізілім көлемінің айтарлықтай өсуі тіркелді. Қазақстанда 2025/26 маркетингтік жылдың алғашқы екі айында бидай ұны өндірісі өткен маусымның ұқсас кезеңімен салыстырғанда 12%-ға өсіп, 703 мың тоннаны құрады. Астық одағының болжамы бойынша, 2025/26 маркетингтік жылы Қазақстаннан бидай ұны экспортының жалпы көлемі 1,83 млн тоннаға жетуі мүмкін.

Осылайша, ұн тарту саласындағы өндіріс пен экспорт көлемінің артуы Қазақстанда агроөнеркәсіптік кешеннің тұрақты дамып келе жатқанын, сондай-ақ өңделген ауыл шаруашылығы өнімдерінің сыртқы нарықтардағы бәсекеге қабілеттілігінің артып отырғанын көрсетеді.

3 - кесте. Негізгі экспорттық бағыттар бойынша өзгеріс

Елдер	Экспорт, мың т	Өзгеріс
Ауғанстан	112,1	+ 23%
Өзбекстан	39,7	+32%
Тәжікстан	4,6	+18%
Қытай	3,3	1,9 есе
Түрікменстан	13,7	-9%
Дереккөз:[11]		

Экспорт көлемінің неғұрлым едәуір ұлғаюы мынадай елдерде тіркелді:

Өзбекстан - 76% -ға өсті, бұл ретте желтоқсан айындағы жеткізілім көлемі рекордтық 1,4 млн тоннаға жетті; Қырғызстан - 27% -ға ұлғайды; Ауғанстан - 1,8 еседен астам өсім; Түркия - 27 есе ұлғайды; Грузия - 8,5 есе өсті.

Бұдан басқа, есепті кезеңде Алжирді (140 мың тонна), Иранды (56,5 мың тонна), Нидерландыны (2,9 мың тонна) және Португалияны (2,2 мың тонна) қоса алғанда, бірқатар жаңа нарықтарға қазақстандық бидайды жеткізу жаңартылды немесе алғаш рет жүзеге асырылды, бұл Қазақстанның алыс шетел нарықтарына қатысуының кеңеюін көрсетеді.

Қазақстаннан бидай ұнының экспорты 2025/26 маркетингтік жылдың қыркүйек-желтоқсан айларында 754,3 мың тоннаны құрады, бұл өткен маусымның осындай кезеңінің деңгейінен 2% -ға артық. Желтоқсанда ЕАЭО аумағынан тыс ұн жеткізу көлемі қарашамен салыстырғанда 1% -ға ұлғайып, 199,7 мың тоннаға жетті.

Желтоқсан айында Қытайға жеткізу тұрақты деңгейде сақталды - 1,6 мың тонна. Сонымен қатар маркетингтік жылдың төрт айының қорытындысы бойынша бірқатар елдер қазақстандық бидай ұнының импортын қысқартты. Айтарлықтай төмендеу Өзбекстанда (-31,1 мың тонна немесе -18%), Қытайда (-1,3 мың тонна немесе -14%) және Ауғанстанда (-27,4 мың тонна немесе -5,7%) байқалды. Сонымен бірге Тәжікстанға (+8,5%), Түрікменстанға (үш есе дерлік ұлғаю) және Қырғызстанға (2,2 есе өсу) жеткізілімдердің айтарлықтай өсуі байқалды.

Жемшөп ұнының экспорты астықты қайта өңдеу өнімдері арасында неғұрлым серпінді өсуді көрсетеді.2025/26 МГ желтоқсанында жеткізу көлемі қарашамен салыстырғанда 1,6% -ға ұлғайып, 278,3 мың тоннаға жетті. Маусымның алғашқы төрт айындағы жиынтық экспорт 1,19 млн тоннаны құрады, бұл өткен жылғы көрсеткіштен 2,3 есе артық және тарихтағы рекордтық көрсеткіш болып табылады.

Азық ұны экспортының 99%-дан астамы Қытай нарығына келетінін атап өткен жөн, бұл экспорттық ағындардың жоғары шоғырлануын қалыптастырады және саланың бір негізгі импорттаушыға тәуелділігін күшейтеді.Қазақстанның Астық одағының бағалауы бойынша, экспорттың өсуі жағдайында азықтық ұнның ішкі өндірісінің қажеттілігін қамтамасыз ету үшін 2025/26 маркетингтік жыл ішінде Ресей Федерациясынан кемінде 1 млн тонна көлемінде төменгі сыныпты бидай импорты қажет болады. Бұл жағдай экспорттық белсенділік пен қайта өңдеу секторының шикізатпен қамтамасыз етілуі арасындағы ықтимал теңгерімсіздіктерді көрсетеді.

2025/26 маркетингтік жылдың алғашқы төрт айының нәтижелері Қазақстанның әлемдік астық нарығындағы экспорттық позицияларының едәуір нығайғанын көрсетеді. Бидай мен жемдік ұн экспортының рекордтық көлемі, жеткізу географиясының кеңеюі және ұн өндірісінің өсуі саланың жоғары экспорттық әлеуетін растайды. Сонымен бір мезгілде төменгі сынып-

ты астық импортына тәуелділіктің күшеюі және жекелеген тауар ағындарының жоғары шоғырлануы өлшемді экспорттық саясатты және ішкі шикізат балансын одан әрі дамытуды талап етеді.

Теміржол логистикасындағы шектеулер (Сарыағаш және Достық–Алтынкөл бағыттары), сондай-ақ теңге бағамының нығаюы экспорттық бағалардың өсуіне әсер етті. Алайда ішкі нарықта бидай бағасы салыстырмалы түрде тұрақты деңгейде сақталды.

Ұн тарту саласында тұрақты өндірістік өсім қалыптасқан. Өндірістің өңірлік әртараптануы байқалады. Экспорттық әлеует сақталғанымен, логистика мен сыртқы бәсекелестік негізгі тәуекел факторлары болып отыр. 2025/26 МЖ-да ұн экспорты 1,83 млн тоннаға дейін өсуі мүмкін.

2023 жылғы деректер бойынша Қазақстанның ірі ұн тарту компанияларының салықтық аударымдары әртүрлі серпінді көрсетті. Кестеден көрініп тұр: кейбір кәсіпорындардың салық төлемдері төмендеп жатқанымен, бірқатар компанияларда айтарлықтай өсім байқалады.

Салықтардың ең көп санын «Компания Саламат» ЖШС-кәсіпорны аударған (2 017 млн тг), бірақ оның көрсеткіші 2022 жылмен салыстырғанда 13% -ға төмендеген. Сондай-ақ» Food Kazakhstan «(-17%) және» Темір астық өнімдері комбинаты «(-19%) компанияларында төмендеу байқалады.

Ал кейбір кәсіпорындарда айтарлықтай өсім байқалды. Мысалы, ең жоғары өсімді» Pioneer Grain Products «ЖШС (+80%) және» Азиагрофуд «АҚ (+77%) көрсетті. Сондай-ақ» Sultan Elevator-диірмен-макарон кешені «(+67%) және» KMK-Pioneer «(+53%) компанияларының салық төлемдері едәуір ұлғайды.

Тұтастай алғанда, 2023 жылы ұн өндіру саласында бірқатар ірі компаниялардың қаржылық белсенділігінің өсуіне қарамастан, кейбір кәсіпорындарда төмендеу байқалды, саладағы көрсеткіштер тұрақсыз серпінді көрсетті.

Төмендегі кестеде ұн тарту саласының **SWOT-талдауы** (күшті және әлсіз жақтары, мүмкіндіктері мен қауіп-қатерлері) сипатталынды.

4 - кесте. Топ ірі ұн өндірушілер

Компанияның атауы	**Өңірлер**	**2023ж. салық аударылымы, млн. тг**	**2022., млн. тг**	**Өсім %**
ЖШС «Компания Саламат»	Қостанай облысы	2 017	2 322	-13%
ЖШС «Ново-Альджанский мелькомбинат»	Ақтөбе облысы	1 347	1 385	-3%
ЖШС «Food Kazakhstan»	Астана қаласы	1 310	1 576	-17%
АҚ «Железский комбинат хлебопродуктов»	Шығыс Қазақстан облысы	1 277	1 570	-19%
АҚ «Азиагрофуд»	Алматы облысы	1 194	976	+77%
ЖШС «Romana-Nan»	Қостанай облысы	1 134	937	+21%
ЖШС «Pioner Grain Products»	Шымкент қаласы	1 106	615	+80%

ЖШС «KMK-Pioneer»	Қостанай облысы	1 014	664	+53%
АҚ «Восточно-Казахстанский мукомольно-комбикормовый комбинат»	Абай облысы	885	789	+12%
АҚ «Sultan Elevator-мельнично-макаронный комплекс	Солтүстік Қазақстан облысы	860	517	+67%
Дереккөз: [12]				

Ұн тарту кәсіпорындарының қаржылық тұрақтылығын арттыру үшін:

- ақша ағындарын бюджеттеу және бақылау жүйесін енгізу;

- астық жеткізушілерді әртараптандыру;

- ауыл шаруашылығы өндірушілерімен ұзақ мерзімді келісімшарттар жасасу;

- сатып алуды оқшаулау есебінен валюталық тәуекелдерді төмендету;

- пайыздық ставкаларды субсидиялаудың мемлекеттік бағдарламаларын пайдалану;

- айналым капиталының резервтік қорын қалыптастыру;

- өндірістік шығындар мониторингінің цифрлық жүйелерін енгізу.

Жүргізілген талдау негізінде Шымкент қаласының ұн тарту кәсіпорындарының қаржылық тұрақтылығын арттыру мақсатында мынадай практикалық ұсынымдарды іске асыру ұсынылады:

1. Капитал құрылымын оңтайландыру.

Ұн тарту кәсіпорындарының пайданы қайта инвестициялау және қарыз қаражатын шамадан тыс тартуды шектеу есебінен өз қаржыландыру көздерінің үлесін ұлғайтуға ұмтылуы орынды, бұл қаржы тәуекелдерінің деңгейін төмендетуге мүмкіндік береді.

2. Айналым капиталын басқару тиімділігін арттыру

Маусымдылықты ескере отырып, астық және дайын өнім қорларын басқарудың неғұрлым икемді саясатын енгізу ұсынылады, бұл қысқа мерзімді кредит беру қажеттілігін төмендетуге және меншікті капиталдың маневрлігін арттыруға мүмкіндік береді.

3. Өндіріс шығындарын бақылауды күшейту.

Шикізат пен энергия ресурстарына бағаның өсуі жағдайында өнімнің өзіндік құнын басқаруға, ресурс үнемдеуші технологияларды енгізуге және логистикалық процестерді оңтайландыруға ерекше назар аудару қажет.

4. Қаржылық жоспарлау және болжамдау құралдарын пайдалану.

Түйінді макроэкономикалық көрсеткіштерді болжауға негізделген қаржылық жоспарлау жүйесін әзірлеу және енгізу кәсіпорындарға сыртқы ортаның өзгерістеріне уақтылы бейімделуге мүмкіндік береді.

5. Қаржылық тәуекелдерді басқару.

Макроэкономикалық турбуленттілік жағдайларында кәсіпорындардың тұрақтылығын арттыру мақсатында астық бағасының өзгеру тәуекелдерін, инфляциялық және пайыздық тәуекелдерді қоса алғанда, қаржылық тәуекелдер мониторингі жүйесін қалыптастыру орынды.

Ұсынылған ұсынымдарды іске асыру ұн тарту кәсіпорындарының қаржылық тұрақтылығын нығайтуға және өңірлік аспектіде олардың бәсекеге қабілеттілігін арттыруға ықпал ететін болады.

Күшті жақтары	**Әлсіз жақтары**

Саланың стратегиялық маңыздылығыҰн тарту саласы Қазақстанның азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ететін негізгі секторлардың бірі. **Өндірістік өсімнің тұрақты динамикасы** 2025 ж. қаңтар–ақпанда Шымкентте өндіріс көлемі 77,8 мың тоннаға жетіп, өткен жылмен салыстырғанда айтарлықтай артқан. **Экспорттық әлеуеттің жоғары болуы**Қазақстандық ұн экспорты дәстүрлі нарықтарда (Ауғанстан, Өзбекстан, Тәжікстан) сақталған. **Ішкі астық қорының жеткіліктілігі** 2025 ж. маусымдағы жағдай бойынша елде 7,37 млн тонна астық қоры бар, бұл ішкі сұранысты толық жабуға жеткілікті. **Мемлекеттік қолдау механизмдері** «Азық-түлік келісімшарт корпорациясы» арқылы шикізатпен қамтамасыз ету мүмкіндігі.	**Шикізатқа жоғары тәуелділік** Өнімнің өзіндік құнында астық шығынының үлесі өте жоғары. **Маусымдылық факторы** Айналым капиталына үлкен жүктеме түседі. **Қарыз қаражатына тәуелділік** Автономия коэффициенті мен рентабельділік арасындағы тәуелділік кәсіпорындардың ішкі қаржы әлеуетінің әлсіздігін көрсетеді. **Бағалық маневрдің шектеулігі** Бәсекелестіктің жоғары болуы бағаны еркін өзгертуге мүмкіндік бермейді. **Логистикалық шектеулер** Теміржол бағыттарындағы қиындықтар экспорттық тиімділікке әсер етеді. **Қаржылық есептіліктің ашық еместігі** Ірі кәсіпорындардың нақты түсім деректері қолжетімсіз
Мүмкіндіктер	**Қауіп қатерлер**
Экспорт географиясының кеңеюіТүркия, Алжир, Иран, Грузия сияқты жаңа нарықтарға шығу. **2025/26 МЖ экспорт болжамының өсуі**Ұн экспорты 1,83 млн тоннаға дейін жетуі мүмкін. **Өндірісті терең өңдеуді дамыту**Қайта өңдеу үлесін арттыру арқылы қосылған құнды көбейту. **Қаржылық басқаруды жетілдіру**Қаржылық жоспарлау және тәуекелдерді басқару жүйесін енгізу. **Технологиялық жаңғырту**Энергия үнемдеуші технологиялар шығындарды азайтуға мүмкіндік береді. **Ішкі нарықтағы тұрақты сұранысЖ**ылдық ішкі тұтыну көлемі ~6 млн тонна.	**Астық бағасының құбылмалылығы**Бағаның өсуі рентабельділікке тікелей әсер етеді. **Инфляция және пайыздық мөлшерлеменің өсуі** **Валюта бағамының ауытқуы.** **Сыртқы нарықтағы бәсекелестіктің күшеюі**Өзбекстан, Ресей, Иран өндірушілерінің белсенділігі. **Шикізат импортына тәуелділік қаупі**Төменгі классты бидайды импорттау қажеттілігі. **Экспорттың бір нарыққа шоғырлануы**Жемшөп ұны экспортының 99%-ы Қытайға бағытталған.
Авторлармен құрастырылған	

Халықаралық тәжірибе ұн тарту өнеркәсібі кәсіпорындарының қаржылық тұрақтылығы көбінесе агроөнеркәсіптік кешенді мемлекеттік қолдау деңгейімен, шикізат базасын әртараптандыру деңгейімен, логистикалық жүйелердің тиімділігімен және қаржылық тәуекелдерді басқарудың қазіргі заманғы құралдарын пайдаланумен айқындалатынын көрсетеді.

Еуропалық одақ елдерінде астық нарығын тұрақтандыруға және қайта өңдеу кәсіпорындарына инфляциялық факторлардың әсерін төмендетуге айтарлықтай көңіл бөлінеді. Атап айтқанда, Польша мен Германияда жеңілдікпен кредит беру, көлік шығыстарын субсидиялау және жет-

кізу тізбектерінің цифрлық мониторингі тетіктері кеңінен қолданылады. Бұл кәсіпорындарға шикізат пен энергия ресурстары бағасының өсуі жағдайында да айналым капиталының орнықтылығын сақтауға мүмкіндік береді

Канада мен АҚШ-та ауыл шаруашылығы өндірушілері мен қайта өңдеу кәсіпорындары арасындағы ұзақ мерзімді келісім-шарттық өзара іс-қимыл жүйесі маңызды рөл атқарады. Фьючерстік келісімшарттарды және хеджирлеу құралдарын пайдалану астық нарығындағы баға тәуекелдерін төмендетуге және қаржы ағындарының болжамдылығын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Бұдан басқа, кәсіпорындар шығындарды басқарудың автоматтандырылған жүйелерін және өндірістік процестерді бақылаудың цифрлық технологияларын белсенді енгізуде.

Қытайда ұн тарту кәсіпорындарының қаржылық тұрақтылығын қамтамасыз ету мемлекеттік қолдауды үйлестіру және өндірістік қуаттарды ауқымды жаңғырту есебінен жүзеге асырылады. Жабдықтарды технологиялық жаңартуға, логистиканы цифрландыруға және астықтың стратегиялық қорларын құруға айтарлықтай көңіл бөлінеді. Бұл кәсіпорындардың сыртқы күйзеліске және әлемдік бағалардың ауытқуына тәуелділігін төмендетуге ықпал етеді.

Жүргізілген салыстырмалы талдау ұн тарту кәсіпорындарының халықаралық практикадағы қаржылық тұрақтылығының негізгі факторлары:

- шикізат көздерін және өткізу нарықтарын әртараптандыру;

- саланы мемлекеттік қаржылық қолдау;

- өндірістік және логистикалық процестерді цифрландыру;

- тәуекелдерді сақтандыру және хеджирлеу құралдарын қолдану;

- ұзақ мерзімді келісімшарттық тетікті пайдалану;

- кәсіпорындардың технологиялық базасын жаңғырту.

Қазақстан Республикасы мен Шымкент қаласының ұн тарту кәсіпорындары үшін жеңілдікті қаржыландыру тетіктерін дамыту, шығындарды цифрлық бақылау, логистикалық тізбектерді тұрақтандыру және баға мен валюталық тәуекелдерді сақтандыру жүйесін кеңейту бөлігінде халықаралық тәжірибені бейімдеу ерекше маңызды болып табылады. Осы шараларды іске асыру макроэкономикалық тұрақсыздық жағдайында кәсіпорындардың қаржылық тұрақтылығын арттыруға және отандық ұн тарту саласының бәсекеге қабілеттілігін күшейтуге мүмкіндік береді.

Қорытынды. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, Шымкент қаласының ұн тарту кәсіпорындарының қаржылық тұрақтылығы ішкі басқару сапасына ғана емес, сонымен қатар астық нарығындағы баға динамикасына және макроэкономикалық ортаға тікелей тәуелді. Саланың ұзақ мерзімді орнықтылығын қамтамасыз ету үшін капитал құрылымын теңгеру, айналым қаражатын тиімді пайдалану, экспорттық тәуелділікті азайту және қаржылық жоспарлауды жетілдіру стратегиялық маңызға ие.

Ұсынылған тәсілдер өңірлік деңгейде ұн тарту кәсіпорындарының бәсекеге қабілеттілігін арттыруға және олардың қаржылық тәуекелдерге қарсы тұру қабілетін күшейтуге мүмкіндік береді.

Өңірлік бөліністе ең үлкен көлем дәстүрлі түрде Қостанай облысына тиесілі, онда қаңтар–наурыз айларында 250 мың тоннаға жуық ұн өндірілді. Есепті кезеңде тиісінше 119 және 117 мың тонна өндірілген Шымкент пен Солтүстік Қазақстан облысы да айтарлықтай өсім көрсетті. Өткен жылмен салыстырғанда бұл аймақтар айтарлықтай өсуді көрсетті.

2020-2025 жылдары Қазақстан экономикасы макроэкономикалық көрсеткіштердің жоғары құбылмалығымен сипатталды. Кәсіпорындардың қаржылық тұрақтылығына инфляциялық процестер, валюта бағамының ауытқуы және Қазақстан Республикасы Ұлттық банкінің базалық стафкасының өзгеруі неғұрлым елеулі әсер етті.

Осылайша, қазіргі динамика ұн тарту өнер-

кәсібіндегі оң тенденцияларды көрсетеді. Қолайлы конъюнктураны ескере отырып, мамандар қазақстандық ұнның ішкі нарықта да, шетелде де позицияларын одан әрі нығайтуды болжап отыр.

Әдебиеттер

1. Modigliani F., Miller M. H. The cost of capital, corporation finance, and the theory of investment: Reply //The American economic review. -1958.-Vol.48(3). - P.261-297.

2. Brealey R. A., Myers S. C., Allen F. Principles of Corporate Finance. McGraw-Hill, Irwin SeriesinFinance. -2013. – 976 p. ISBN 0078034760

3. Зюкин Д.А., Латышева З.И., Власова О.В., Бушина Н.С. Оценка финансовой устойчивости и эффективности деятельности крупнейших предприятий мукомольной промышленности России//Cyberleninka. -2024.-Т.32(1) -С.71-83. DOI 10.36622/1810-4894.2024.22.22.006.

4. Гриднева Е.Е., Калиакпарова Г.Ш., Сыздыкова К.Ш. Развитие мукомольной промышленности Республики Казахстана //Проблемы агрорынка. -2019. - № 4. -С.142-148.

5. Дуйсебаева А.М. Мукомольная отрасль Республики Казахстана//Проблемы агрорынка. -2020. - № 2. -С.195-201.

6. Джолдасбаева Г.К., Есахметова Л.М. Экспорт продукции зерноперерабатывающих предприятий//Проблемы агрорынка. -2020. - № 2. - С.126-133.

7. Djumanov T. Financial stability in agricultural enterprises in the conditions of the digital economy and the effectiveness of increasing profits. //World Economics and Finance Bulletin. -2024.-Vol.30.- P.82-87.

8. Okhota Y., Chikov I., Bilokinna I. Conceptual polycomponent model of an innovative mechanism for improving the competitiveness of agro-industrial complex enterprises //Baltic Journal of Economic Studies. -2024.-Vol.10(2). -P.196-210. DOI 10.30525/2256-0742/2024-10-2-196-210.

9. Аверина О.И., Мамаева И.С. Анализ и оценка финансовой устойчивости // Издательский дом «Научная библиотека». - 2014. -204 с. ISBN 978-5-906660-04-6.

10. Национальное бюро статистики Агентства Республики Казахстан по стратегическому планированию и реформам. Урожайность основных сельскохозяйственных культур. Источник URL: https://www.stat.gov.kz.- Қаралған күні: 28.0.2026

11. Топ Казахстанских производителей муки.URL: https://world-nan.kz -Дата обращания: 20.02.2026 г.

12. Сайт Ozgeris.info. Ұн мен бидай дағдарысы еңсеріле ме?.-2025 –URL https://ozgeris.info/kz/article/un-men-bidai-dagdarysy-enserile-me.html.- Қаралған күні: 20.02.2026 г.

13. Сайт agrosearch.kz. Производство пшеничной муки в Казахстане продалжает расти.-URL: https://agrosearch.kz Қаралған күні: 20.02.2026 г.

References

1. Modigliani F., Miller M. H. The cost of capital, corporation finance, and the theory of investment: Reply //The American economic review. -1958.-Vol.48(3). - P.261-297.

2. Brealey R. A., Myers S. C., Allen F. Principles of Corporate Finance. McGraw-Hill, Irwin SeriesinFinance. -2013. – 976 p. ISBN 0078034760

3. Zjukin D.A., Latysheva Z.I., Vlasova O.V., Bushina N.S. Ocenka finansovoj ustojchivosti i jeffektivnosti dejatel' nosti krupnejshih predprijatij mukomol' noj promyshlennosti Rossii//Cyberleninka. -2024.-T.32(1) -S.71-83. DOI 10.36622/1810-4894.2024.22.22.006. [in Russian]

4. Gridneva E.E., Kaliakparova G.Sh., Syzdykova K.Sh. Razvitie mukomol' noj promyshlennosti Respubliki Kazahstana //Problemy agrorynka. -2019. - № 4. -S.142-148. [in Russian]

5. Dujsebaeva A.M. Mukomol' naja otrasl' Respubliki Kazahstana//Problemy agrorynka. -2020. - № 2. -S.195-201.

6. Dzholdasbaeva G.K., Esahmetova L.M. Jeksport produkcii zernopererabatyvajushhih predprijatij//Problemy agrorynka. -2020. - № 2. - C.126-133. [in Russian]

7. Djumanov T. Financial stability in agricultural enterprises in the conditions of the digital economy and the effectiveness of increasing profits. //World Economics and Finance Bulletin. -2024.-Vol.30.- P.82-87.

8. Okhota Y., Chikov I., Bilokinna I. Conceptual polycomponent model of an innovative mechanism for improving the competitiveness of agro-industrial complex enterprises //Baltic Journal of Economic Studies. -2024.-Vol.10(2). -P.196-210. DOI 10.30525/2256-0742/2024-10-2-196-210.

9. Averina O.I., Mamaeva I.S. Analiz i ocenka finansovoj ustojchivosti // Izdatel' skij dom «Nauchnaja biblioteka». - 2014. - 204 c. ISBN 978-5-906660-04-6.

10. Nacional' noe bjuro statistiki Agentstva Respubliki Kazahstan po strategicheskomu planirovaniju i reformam. Urozhajnost' osnovnyh sel' skohozjajstvennyh kul' tur. Istochnik URL: https://www.stat.gov.kz.- Қаралған күні: 28.0.2026. [in Russian]

11. Top Kazahstanskih proizvoditelej muki.URL: https://world-nan.kz/news/top-kazakhstanskikh-proizvoditeleyi-mukiju -Data obrashhanija: 20.02.2026 g. [in Russian]

12. Sajt Ozgeris.info. Ұn men bidaj dағdarysy eңserile me?.-2025 –URL https://ozgeris.info/kz/article/un-men-bidai-dagdarysy-enserile-me.html.- Қаралған күні: 20.02.2026 g. [in Kazakh]

13. Sajt agrosearch.kz. Proizvodstvo pshenichnoj muki v Kazahstane prodalzhaet rasti.-URL: https://agrosearch.kz/news/proizvodstvo-psenicnoi-muki-v-kazaxstane-vyroslo-na-6-s-nacala-goda- Қаралған күні : 20.02.2026 g. [in Russian]

Авторлар туралы мәлімет

Сатыбалдиева А.Н.- PhD студенті, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Казахстан,e-mail: ainurdiar_14@mail.ru;

Мауленкулова Г.Е.- э. ғ. к., қауымдастырылған профессор, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті Шымкент,Казахстан, e-mail: maylenkylova@mail.ru;

Айтымбетова А.Н.- э. ғ. к., қауымдастырылған профессор, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университет, Шымкент, Казахстан, e-mail: a.ainura-81@mail.ru,

Муталиева А.А.- PhD, Аймақтық инновациялық университет, Шымкент, Казахстан, e-mail: Alua012@mail.ru,

Умарова Г.Х. - экономика магистрі, аға оқытушы, [1]М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті,Казахстан, e-mail:guh_umarova@mail.ru.

Information about the authors

Satybaldieva A.N.- PhD doctoral student, M. Auezov South Kazakhstan University,Shymkent, Kazakhstan,e-mail: ainurdiar_14@mail.ru;

Maulenkulova G. Ye. - Candidate of Economic Sciences, Associate professor. M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan e-mail: maylenkylova@mail.ru;

Aitymbetova A.N.- Candidate of Economic Sciences, Associate professor,M. Auezov South Kazakhstan Universit,y Shymkent, Kazakhstan,e-mail: a.ainura-81@mail.ru;

Mutaliyeva A.A. - PhD, Regional Innovation University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: Alua012@mail.ru;

Umarova G.Kh. - Senior Lecturer, Master of Economics. M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: guh_umarova@mail.ru.

IRSTI 06.73.75 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1639**

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE AND DEVELOPMENT TRENDS OF DIGITAL MORTGAGE LENDING IN KAZAKHSTAN

[1]A.Sh. Abdeshova, [1]A.G. Tyumambaeva✉, [2]A.S. Duskaliyev

[1]Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University , Uralsk, Kazakhstan,
[2]Narxoz University, Almaty, Kazakhstan

✉ *Corresponding author: Aislu.GT@mail.ru*

Digital mortgage lending, including the use of remote banking services, is gaining momentum in the Kazakhstani market, accompanied by an increase in the number of mortgage loans issued. This paper examines the process of digital transformation in mortgage lending, focusing on the current benefits of digitalization in this sector. To analyze the key aspects and relevance of the topic, the author employs methods of statistical data processing related to the mortgage market, mathematical calculations, analysis of commercial banks' annual reports, visual methods of information presentation, comparative analysis, and systematization of information.The study identifies factors contributing to rising housing prices and analyzes mortgage loans issued to individuals by second-tier Kazakhstani banks between 2015 and 2025, taking into account currency, region, type of mortgage program, and the composition of the mortgage portfolio. The study also analyzed key indicators of Otbasy Bank JSC, a leading player in the retail mortgage lending market, with the activity of its deposit portfolio assessed using internet banking and video banking services.A comparison was conducted between the potential of the "Digital Mortgage" pilot project and the volume of mortgage loans issued by commercial banks participating in the program.

The analysis revealed that the leading lenders under this project were Freedom Bank Kazakhstan JSC, BankCenterCredit JSC, and Narodny Bank of Kazakhstan JSC. Key factors hindering the development of the digital mortgage market were identified, and recommendations for overcoming them were formulated.

Particular attention was paid to one of the most significant threats to individuals in the era of digitalization-fraud-and the possibility of using the "Stop-Credit" service to protect customers was also considered. The implementation of the proposed measures has the potential to significantly accelerate the mortgage loan application process using digital technologies for all market participants.

Key words: mortgage, digital transformation, loan, housing program, commercial bank, interest rate.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОГО ИПОТЕЧНОГО КРЕДИТОВАНИЯ В КАЗАХСТАНЕ

[1]А.Ш. Абдешова, [1]А.Г. Тюмамбаева✉, [2]А.С. Дускалиев

[1]Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Уральск, Казахстан,
[2]Университет Нархоз, Алматы, Казахстан,
e-mail: Aislu.GT@mail.ru

Цифровое ипотечное кредитование, включая использование дистанционных банковских сервисов, набирает обороты на рынке Казахстана, что сопровождается ростом числа выданных ипотечных займов. В работе раскрывается процесс цифровой трансформации ипотечного кредитования, акцентируя внимание на текущих преимуществах цифровизации в данной сфере. Для анализа ключевых аспектов и актуальности темы применены методы статистической обработки данных, касающихся ипотечного рынка, математические расчёты, анализ годовых отчётов коммерческих банков, визуальные методы представления информации, сравнительный анализ и систематизация информации. Представлены факторы, способствующие росту цен на жильё, а также проведено исследование ипотечных кредитов, выданных населению казахстанскими банками второго уровня в период с 2015 по 2025 год, с учётом валюты, региона, типа ипотечной программы и состава ипотечного

портфеля. В ходе исследования также были проанализированы ключевые показатели АО «Отбасы Банк», являющегося ведущим игроком на рынке ипотечного кредитования населения, при этом активность его депозитного портфеля оценивалась с использованием сервисов интернет-банкинга и видеобанкинга. Проведено сравнение потенциала пилотного проекта «Цифровая ипотека» с объемами выдачи ипотечных займов коммерческими банками, вовлеченными в эту программу.

Результаты анализа показали, что основными лидерами по кредитованию в рамках данного проекта стали АО «Фридом Банк Казахстан», АО «БанкЦентрКредит» и АО «Народный Банк Казахстана». Выявлены ключевые факторы, сдерживающие развитие цифрового ипотечного рынка, и сформулированы рекомендации по их преодолению.

Особое внимание уделено одной из наиболее значимых угроз для физических лиц в эпоху цифровизации - мошенничеству, а также рассмотрена возможность применения сервиса «Стоп-кредит» для защиты клиентов. Внедрение предложенных мер способно существенно ускорить процедуру оформления ипотечных кредитов с применением цифровых технологий для всех участников рынка.

Ключевые слова: ипотека, цифровая трансформация, кредит, жилищная программа, коммерческий банк, процентная ставка.

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ИПОТЕКАЛЫҚ НЕСИЕЛЕУДІҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ МЕН ДАМУ ТЕНДЕНЦИЯЛАРЫН ТАЛДАУ

[1]А.Ш. Абдешова, [1]А.Г. Тюмамбаева✉, [2]А.С. Дускалиев
[1]Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан,
[2]Нархоз Университеті, Алматы, Қазақстан,
e-mail: Aislu.GT@mail.ru

Қазақстан нарығында цифрлық ипотекалық несиелендіру, оның ішінде қашықтан банктік қызметтерді пайдалану, берілген ипотекалық несиелер санының өсуімен қатар қарқын алуда. Бұл мақала осы сектордағы цифрландырудың қазіргі артықшылықтарын көрсете отырып, ипотекалық несиелеудің цифрлық трансформациясын зерттейді. Негізгі аспектілер мен тақырыптың өзектілігін талдау үшін ипотекалық несие нарығының деректерін өңдеудің статистикалық әдістері, математикалық есептеулер, коммерциялық банктердің жылдық есептерін талдау, ақпаратты ұсынудың көрнекі әдістері, салыстырмалы талдау, ақпаратты жүйелеу қолданылды.Тұрғын үй бағасының өсуіне ықпал ететін факторлар ұсынылып, валютаны, аймақты, ипотекалық бағдарламаның түрін және ипотекалық портфель құрамын ескере отырып, 2015-2025 жылдар аралығында екінші деңгейлі қазақстандық банктердің жеке тұлғаларға берген ипотекалық несиелеріне зерттеу жүргізілді. Сондай-ақ, зерттеу барысында ипотекалық тұрғын үйді несиелендіру нарығының жетекші ойыншысы болып табылатын «Отбасы Банкі» АҚ-ның депозиттік портфелінің өнімділігі онлайн және бейне банкинг қызметтері арқылы бағаланған негізгі көрсеткіштеріне талдау жасалды.«Цифрлық ипотека» пилоттық жобасының әлеуеті мен бағдарламаға тартылған коммерциялық банктер беретін ипотекалық несиелер көлемі арасында салыстыру жүргізілді.

Талдау көрсеткендей, «Фридом Банк Қазақстан» АҚ, «БанкЦентрКредит» АҚ және «Қазақстан Халық Банкі» АҚ осы жоба бойынша несие берудің негізгі көшбасшылары болып табылады. Цифрлық ипотека нарығының дамуын тежейтін негізгі факторлар анықталып, оларды еңсеру бойынша ұсыныстар тұжырымдалды.

Цифрлық дәуірдегі жеке тұлғаларға төнетін ең маңызды қатерлердің бірі - алаяқтыққа ерекше назар аударылады және клиенттерді қорғау үшін «Stop-Credit» қызметін пайдалану мүмкіндігі талқыланады. Осы ұсынылған шараларды жүзеге асыру нарықтың барлық қатысушылары үшін цифрлық технологияларды пайдалана отырып, ипотекалық несиеге өтініш беру процесін айтарлықтай жеделдете алады.

Түйін сөздер: ипотека, цифрлық трансформация, несие, тұрғын үй бағдарламасы, коммерциялық банк, пайыздық мөлшерлеме.

Introduction. The development of the digital economy is closely linked to the creation of business models and new products and services based on digital technologies within financial institutions. This enables the creation of a universal digital environment for interaction and communication among financial institutions, customers, government agencies, and organizations [1].

Currently, access to housing is most often achieved through mortgage lending. Mortgage is not a modern term. It first appeared in Ancient Greece in the early 6th century BCE [2].

Mortgage lending is a long-term loan provided by financial institutions for the purchase of a home, which serves as collateral.

In general, regardless of the type of loan, the process of obtaining it takes a long time: gathering documents, endless lines at bank branches, document verification, and other tasks. However, the development of digital technologies in the modern financial sector is leading to fundamental changes in the lending process [3].

Digital transformation in mortgage lending represents a dynamic shift in the lending process for both commercial banks and borrowers when providing housing to the public.

The rapid development of digital transformation has led to increased competition in the country's banking sector, and digitalization is becoming an integral part of commercial banks' strategies. In the Republic of Kazakhstan, approximately 80% of the population actively uses the internet, which is an important step toward expanding access to banking services.

Digital mortgage loans allow borrowers to apply online, undergo electronic verification, and receive a quick loan decision, which can significantly simplify the lending process through digital platforms [4].

The adoption of digital technologies not only saves time but also plays a key role in enhancing banks' competitiveness. In addition, digitalization enables second-tier banks to collect and analyze large volumes of customer data.

In recent years, the government has offered various programs and incentives related to mortgage lending. However, it is worth noting that due to low wages and the low social status of socially vulnerable groups, citizens of Kazakhstan are unable to secure housing for themselves [5].

It is also worth noting the low level of financial literacy among the population. After all, in the context of digital transformation, it is extremely important to approach financial documents and the lending process with a high degree of responsibility.

The relevance of this research lies in improving access to housing for citizens, including young people and vulnerable groups, through digital transformation in mortgage lending.

The objective of this research is to identify and examine, through analysis, the challenges associated with mortgage lending to the population in the Republic of Kazakhstan in the context of digital transformation, as well as to determine avenues for the effective use of digital technologies to ensure access to housing.

The scientific novelty of the study lies in a comprehensive assessment of the current state of digital mortgage lending in Kazakhstan based on an analysis of mortgage portfolio dynamics, regional market development characteristics, and the increased accessibility of mortgage products through the use of digital technologies.

The subject of this study is the annual reports of second-tier banks engaged in mortgage lending in the Republic of Kazakhstan.

Kazakh authors frequently address topics such as the accessibility of mortgage lending, the state of the mortgage lending market, and its effectiveness [5]. This article examines the application of mortgage lending in the context of digitalization, the advantages of using digital technologies in mortgage lending, and the

challenges associated with its implementation, demonstrating its importance and relevance to the country's socioeconomic policy. Thus, the article highlights the specific nature of the topic under consideration in the development of an effective banking system.

Many international authors conduct research in the field of real estate, examining in their works the importance of mortgage lending in the context of digitalization and the factors influencing it through comparative analysis [6].

In reviewing the works of foreign authors, we will focus on the important aspects of digitalization regarding mortgage lending as presented in their studies.

In their work, L.A. Petrova and T.E. Kuznetsova noted that banks are developing new digital products to attract and retain new customers. For example, the launch of a mortgage brokerage service that allows customers to obtain loans online and significantly reduces the number of visits to the bank. In addition, digital mortgage lending systems reduce the time required to complete transactions, are available around the clock, ensure the convenience of using credit services, have a unified database within the ecosystem, and much more [7].

In the FinTex mortgage lending system, decisions are made more consistently when applicants appear more trustworthy, when banks are larger or specialize in mortgage lending, and when banks have more experience operating in the online environment. Thus, B. Christof and O. Steven demonstrated in their study of mortgage lending that extensive experience in the online environment helps reduce transaction costs [8].

Researcher Lee emphasizes that the implementation of digital services, machine learning algorithms, and artificial intelligence helps make credit products more accessible to customers and significantly reduces application processing times. At the same time, the researcher emphasizes the importance of refining the regulatory framework regarding personal data protection and ensuring the transparency of algorithms [9].

A study by Romero L. K. (2024) demonstrates that the introduction of digital mortgage services and the growth of fintech lending are fostering a competitive environment in the housing finance market. This, in turn, expands citizens' access to mortgages, particularly for residents of areas where traditional banks have a limited presence [10].

The modern mortgage market is focused on providing alternative financial models that utilize digital services to address the long-standing issue of housing affordability. It offers easy access to mortgages through blockchain and cryptocurrency systems. It applies principles of behavioral economics to enhance the efficiency of mortgage lending through a gamification-based management system and by improving financial literacy.

Drawing on international and national research, this article presents a development perspective that integrates aspects of financial and social policy, identifying issues related to innovations in digital banking that served as the inspiration for this study.

Materials and Methods. The following scientific analysis methods were used in the preparation of this study:

- the economic-statistical method was used to analyze mortgage lending indicators in Kazakhstan based on the annual reports of the National Bank of the Republic of Kazakhstan, the Agency for the Regulation and Development of the Financial Market, and second-tier banks. Tables and charts on mortgage lending were used for statistical analysis.

- a comparative method was used to identify trends in the development of digital mortgage lending in foreign countries and in Kazakhstan;

- a systems approach allowed us to view digital mortgages as a complex system of interaction between the state, banks, and developers;

- when formulating conclusions and recommendations for improving digital mortgage lending in Kazakhstan, taking into account the international experience of leading countries where the transition has occurred from partial process automation to fully seamless online transactions, the method of generalization and logical analysis was used.

Results and Discussion. Providing housing for the population is one of the key areas for improving living conditions. Several factors influence housing prices in the market.

Figure 1 shows the growth trend in housing construction volume in the Republic of Kazakhstan for the period 2016–2025. Despite the adoption of a number of measures to provide citizens with housing, housing affordability remains low. The total housing stock by 2025 will amount to 114.3 million square meters, and the per capita housing provision ratio will be 25.1 square meters.

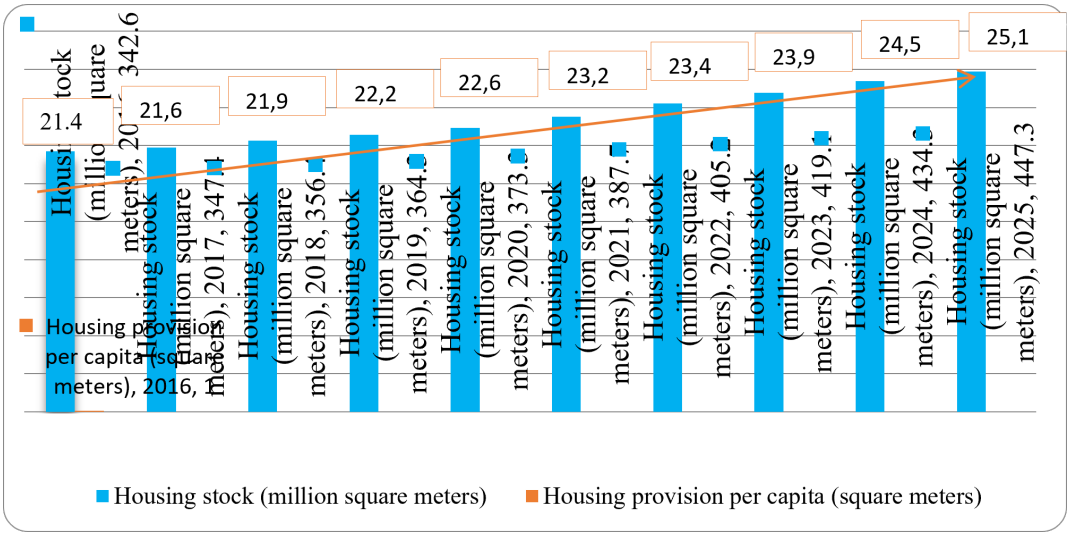


Fig.1 - Total Housing Stock and Housing Provision in the Republic of Kazakhstan
Note: the table was complited by the authors based on source [11]

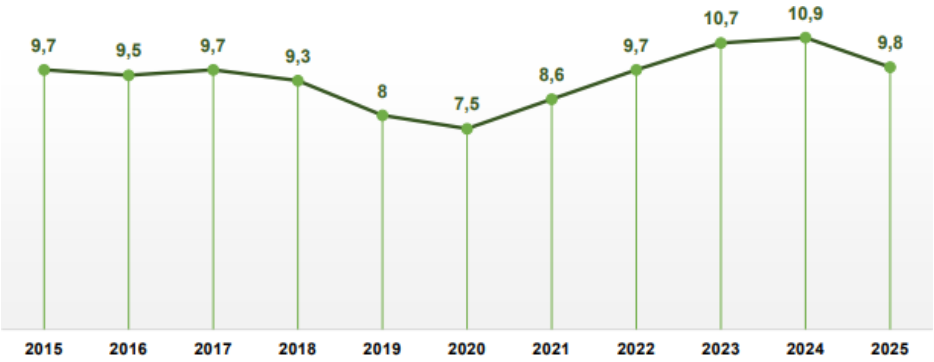


Fig.2 - Average interest rate on loans for housing construction and purchase, %
Note: the table was complited by the authors based on source [15]

This is below the United Nations' requirements for total living space (30 square meters per person). Despite annual growth, housing provision remains low. To improve this indicator, the government needs to increase the volume of housing construction [12,13].

Another factor contributing to rising housing prices is the annual increase in the cost of construction materials. According to the National Bureau of Statistics, since the beginning of 2025, the tenge has depreciated by more than 20% against the Russian ruble. This means that for Kazakhstani buyers, the price in Russian rubles has not changed, but Russian materials have become more expensive. At the same time, experts warn that rising prices for

construction materials could affect the real estate market, and stricter requirements for developers could also lead to higher housing costs [14].

Housing price increases also depend on factors such as the property's location, housing project, size, design, and proximity to schools and kindergartens.

The issue of providing government assistance to ensure access to housing for low-income and socially vulnerable groups requires extensive research; in this paper, we would like to focus on the accessibility of mortgage lending using digital technologies.

Housing provision for the population of the Republic of Kazakhstan is largely carried out through mortgage lending

As shown in Figure 2, the average interest rate on outstanding loans has been declining since 2018; however, it rose in 2021 (2.3%), in 2024 (10.9%), and then fell slightly by the end of 2025 (9.8%). This can be explained by a reduction in the number of subsidized mortgage programs on the market.

Table 1 - Total Mortgage Portfolio of the Republic of Kazakhstan

Years	Kazakhstan's mortgage portfolio, in billions of dollars	Kazakhstan's mortgage portfolio, excluding Otbasy Bank JSC, in billions of tenge	Growth of Kazakhstan's mortgage portfolio, %	Growth of Kazakhstan's mortgage portfolio, excluding Otbasy Bank JSC, %
2021	3 383	1 299	39	21
2022	4 703	1 735	39	34
2023	5 348	2 146	14	24
2024	6 106	2 608	14	22
2025	6 952	2 902	14	11
Note: the table was complited by the authors based on source [15]				

The total mortgage portfolio of the Republic of Kazakhstan increased by 14 percent compared to 2024, while the mortgage portfolio of second-tier banks, excluding Otbasy Bank, amounted to 11 percent (2,604 tenge – 2024). This decline is linked to the base rate, which was set at 18 percent in October 2025. The share of the mortgage portfolio in GDP in 2025 was 4 percent. The volume of the mortgage portfolio of commercial banks as of January 1, 2026, amounted to 6,952 billion tenge, including 6,950.5 billion tenge in the national currency (99.9%) and 1 billion tenge in foreign currency (0.1%). We see that the majority of mortgage loans were issued in the national currency, which may also be linked to the rising exchange rate of the U.S. dollar.

The volume of mortgage loans issued across all regions of the country increased by 14 percent. Among the regions, the largest share of mortgage loans is observed in the Ulytau and Zhetysu regions. This is explained by the fact that the Ulytau and Zhetysu regions are separate regions, and despite the small volume of loans issued, growth rates are quite high. In the total mortgage portfolio, the largest share among second-tier banks belongs to Astana and Almaty, accounting for 55%, which can be explained by the high concentration of the population, especially young people, in these megacities.

Not all commercial banks in the Kazakhstani mortgage market offer home loans. For example, only certain banks can offer the «7-20-25» program. The operator of the «7-20-25» program is JSC «Kazakhstan Stability Fund». This program is an

effective mortgage program with a low interest rate of 7% (APR – 7.2%). The down payment is set at 20% of the property value, but there is a fixed amount for each region.

Table 2 - Volume of mortgage loans issued by region

Regions of Kazakhstan	2024ж		2025ж		increase, %
	billion tenge	share, %	billion tenge	share, %	
Across Kazakhstan - total	**6 064**	**100**	**6 952**	**100**	**15**
Abai	111	2	128	2	15
Akmola	162	3	166	2	2
Aqtube	256	4	281	4	9
Almaty	110	2	120	2	9
Atyrau	146	2	159	2	9
East Kazakhstan	195	3	214	3	10
Jambyl	124	2	141	2	14
Jetisu	49	1	68	1	38
West Kazakhstan	163	3	188	3	15
Karaganda	381	6	396	6	4
Kostanay	182	3	197	3	8
Kyzylorda	83	1	99	1	19
Mangystau	168	3	186	3	11
Pavlodar	181	3	201	3	11
North Kazakhstan	82	1	90	1	10
Turkestan	57	1	61	1	8
Ulytau	13	0	21	0	64
Almaty	1 504	25	1 821	26	21
Astana	1 764	29	2 026	29	15
Shymkent	333	5	390	6	17
Note: the table was complited by the authors based on source [15]					

The partner banks of the 7-20-25 program include the following:

- JSC «Bank CenterCredit»;
- JSC «Halyk Bank of Kazakhstan»;
- JSC «Eurasian Bank»;
- JSC «Freedom Bank of Kazakhstan»;
- JSC «Bank RBK»;
- JSC «Forte Bank»;
- JSC «Altyn Bank» [16].

Among these banks, Freedom Bank of Kazakhstan JSC holds the largest share of mortgage loans under the 7-20-25 program - 1,878 loans (34.7 billion tenge); JSC «Bank CenterCredit» - 2,066 loans (36.2 billion tenge); and JSC «Halyk Bank of Kazakhsta» - 1,004 loans (1.2 billion tenge).

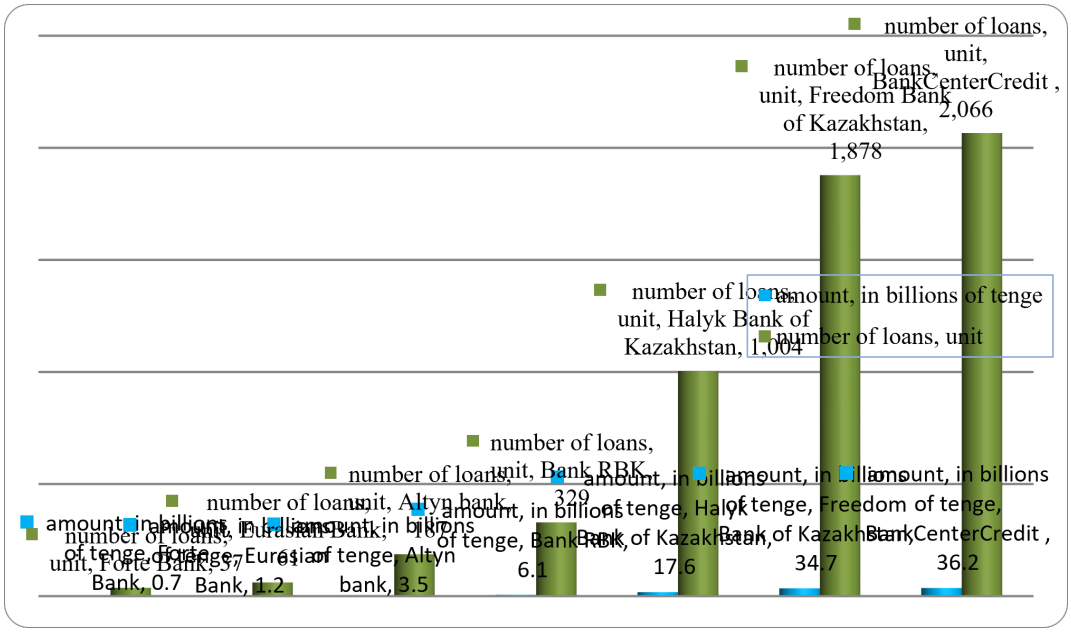


Fig.3 - Leaders of the "7-20-25" program by region

Note: the table was complited by the authors based on source [15]

In addition, Otbasy Bank JSC holds a significant market position, offering preferential loans with low interest rates.

Among second-tier banks, Otbasy Bank JSC is the market leader in mortgage lending, accounting for 55 percent of the total volume of loans for housing construction and purchase. However, the bank also has shortcomings in mortgage lending compared to other commercial banks, including low household purchasing power, restrictions on products and operations, an imperfect legislative framework related to these restrictions, and insufficient flexibility in the quasi-public sector (Figure 4).

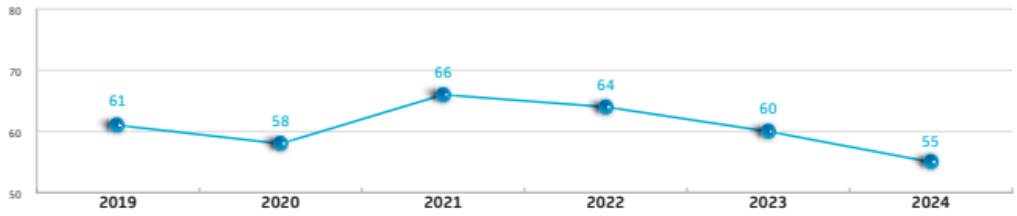


Fig.4 - Volume of loans issued by Otbasy Bank JSC for housing construction and purchase

Note: the table was complited by the authors based on source [17]

In accordance with the Concept for the Development of Housing and Utilities Infrastructure of Otbasy Bank JSC for 2023–2029, the bank is making full use of digital technologies to achieve its strategic goals of transitioning business processes and business models to a digital platform. To build new expertise within the context of the Information Technology Development Strategy for 2024–2026, Otbasy Bank is working on the development and implementation of innovative products, leveraging the ongoing transformation in the mortgage market. This Information Technology Development Strategy defines the key priorities for the development of innovative technologies and is aimed at creating conditions for the development of digital channels, as well as for the development

of the mortgage lending market. Otbasy Bank has been offering a video banking service since 2020. This helps the bank's customers apply for mortgage loans remotely and minimize visits to bank branches; specifically, in 2024, 5,244 loan applications totaling 120 billion tenge were processed. Video calls and audio services help customers save time and access post-deposit services remotely.

As shown in Figure 5, Otbasy Bank is performing well in terms of deposit portfolios generated through online and video banking.

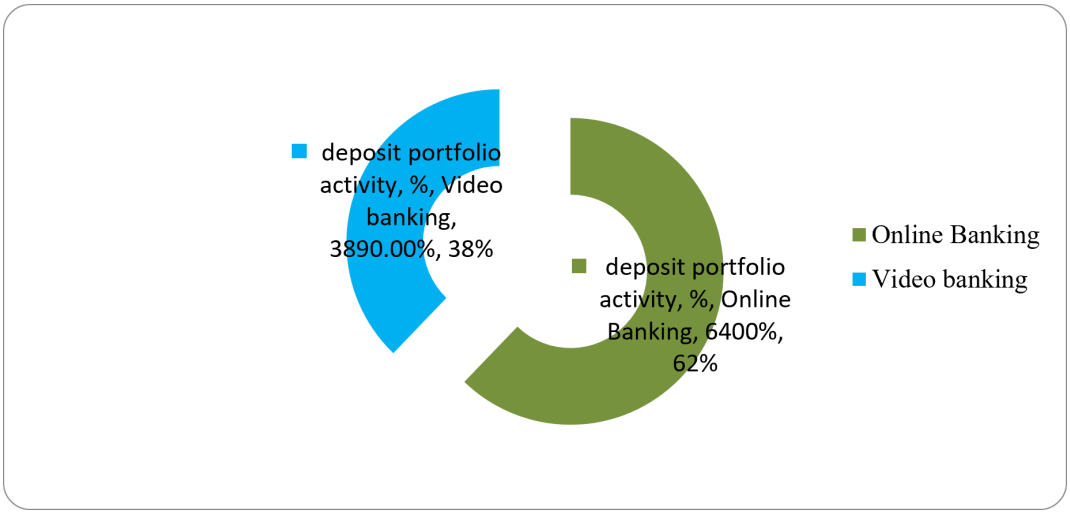


Fig.5 - Activity of the deposit portfolio of Otbasy Bank JSC in 2024, %
Note: the table was complited by the authors based on source [17]

The share of transactions related to remote banking services will reach 42% in 2023 and 53% in 2024. The bank is successfully implementing various online programs to increase digitalization and improve customer service. The bank is working to improve the efficiency of digital business processes, digitize products and services, implement artificial intelligence and automation, and enhance the skills and professional development of employees in the field of information technology to create a dynamic digital bank with an optimized structure of digital business processes.

In light of the implementation of the Address by the President of the Republic of Kazakhstan, K. Tokayev, on the development of artificial intelligence (AI), Otbasy Bank conducted four pilot projects comparing the world's 11 leading AI models [18]:

1. OpenAI: ChatGPT 3.5, ChatGPT 4, ChatGPT 4 omni, ChatGPT 4 omni-mini.

2. Amazon Web Services (AWS): Claude 3.5 Sonnet, Claude 3.5 Haiku, Nova.

3. Google: Gemini 1, Gemini 1.5, Gemini 2.

4. Meta: Llama.

As a result of the analysis, a new chatbot, Quanysh-AI, was developed. In addition, in 2024, AWS acquired a new chat platform and a voice platform with AI integration, and a desktop application was developed. The implementation of artificial intelligence and the use of digital platforms not only improve customer service but also enhance the quality and accessibility of financial services.

The development of digital technologies also has a dangerous downside. In this regard, to protect against fraud, the bank established a fraud prevention department designed to safeguard the legitimate interests of the bank and its customers.

A pilot project called "Digital Mortgage" has been launched in the Republic of Kazakhstan, designed to simplify online notarial transactions for

the purchase and sale of real estate related to the registration of housing on the secondary market. To do this, citizens select the «Digital Mortgage» option on the bank's website or in the bank's mobile app and enter the home's value, down payment, and loan term. After entering the data, the required monthly payment is automatically calculated and displayed on the screen. The applicant enters their personal data and confirms it via SMS [19].

The terms, procedure, and algorithm for online registration of real estate purchase and sale transactions under the «Digital Mortgage» program are governed by the Decree of the Republic of Kazakhstan dated 2025 on the implementation of a pilot project for the online registration of notarized real estate purchase and sale transactions (second-class housing) as part of the «Digital Mortgage» [20].

To assess the level of digital technology development in Kazakhstan's mortgage lending sector and identify promising areas for the development of digital mortgages based on successful international practices, we will conduct a comparative analysis.

Table 3 - A Comparative Analysis of the Digitalization of Mortgage Lending in Other Countries and Kazakhstan

Criterion	Kazakhstan	Foreign countries (the United States, the United Kingdom, Singapore, Estonia)
Submittingan application	Available online via banking platforms and government services	A fully digital format with automated application processing
Customer Identification	Electronic digital signatures, biometrics, and government databases are used	Widespread use of digital identifiers, biometrics, and remote verification technologies
Borrower Assessment	Automated scoring is used to a limited extent and is often supplemented by manual review	Active use of artificial intelligence and big data for creditworthiness assessment
Real Estate Registration and Mortgages	Available in electronic format through government information systems	In some countries, the registration of property rights and mortgage liens is fully digital
Mortgage Processing Speed	From a few days to a few weeks	From a few minutes to a few days
Legal Framework	Continues to improve with the integration of digital technologies	More mature regulation of electronic transactions and digital financial services
Level of Digital Maturity	Moderate level of digitalization	A high level of digitalization in the financial sector
Note: the table was complited by the authors based on source [21-25]		

Experience from other countries shows that the most successful models are those based on the close integration of banking systems with government digital platforms. For example, in Singapore and Estonia, thanks to their advanced digital infrastructure, citizens can complete most stages of the mortgage application process remotely without having to visit government offices or bank branches. In the U.S. and the U.K., artificial intelligence, automated scoring, and electronic

document management technologies are actively used, which significantly speeds up the credit decision-making process.

Kazakhstan is demonstrating significant progress in the digitalization of the mortgage market thanks to the development of e-government, the use of electronic digital signatures, biometric identification, and the integration of government databases with the banking sector.

A comparative analysis shows that Kazakhstan is in the active development phase of digital mortgages and generally follows global trends. At the same time, international experience indicates the need to further improve digital infrastructure, expand the use of artificial intelligence and automated services, enhance data protection, and develop legal regulations.

One of the pressing issues in the development of digital technologies is the rise of online fraud.

Although digital financial services are evolving faster and becoming more convenient than ever before, the risks are also increasing. These include the theft of personal data by fraudsters, the use of phishing websites and social engineering tactics, as well as the issuance of loans in citizens' names without their consent. Often, citizens only learn about these loans from debt notices or after being contacted by debt collectors. This creates enormous financial and psychological problems for people. To protect against such risks, the «Stop Credit» government service was introduced in Kazakhstan. This service allows citizens to voluntarily restrict the ability to issue loans in their name [26].

Citizens should familiarize themselves with the capabilities of the «Stop-Credit» service and know how to use it in their daily lives. It is essential to regularly attend seminars conducted by the Department of Economic Investigations and the Financial Monitoring Agency of the Republic of Kazakhstan to ensure protection against fraud. Additionally, every citizen should take steps to improve their financial literacy.

Conclusions. Digitalization requires significant investment for continuous development and infrastructure building. It demands constant improvement to keep pace with changing times. Based on the above, the key benefits of digital products for mortgage lending can be summarized as follows:

1. Bankscosts are reduced, customer service quality improves, and the mortgage application process becomes simpler and faster for customers.

2. Thanks to the reduction in the number of intermediaries, the costs of mortgage lending services decrease, which, in turn, leads to lower mortgage interest rates.

3. Transparency in all transactions, especially when using blockchain technology, helps mitigate the risk of fraud.

4. Increased securitization of mortgage loans and credit resources.

The digitization of mortgage lending in Kazakhstan not only creates new opportunities to improve the accessibility and speed of obtaining home loans, but also entails a number of significant risks related to cybersecurity, technical failures, digital inequality, legal uncertainty, and a potential overheating of the real estate market. To minimize these threats, a comprehensive approach is needed, including strengthening the protection of personal data in information systems, improving digital infrastructure, developing the regulatory framework, increasing the population's digital and financial literacy, and continuously monitoring the state of the housing market.

Given the factors limiting the digitization of mortgage lending, the following measures can be proposed to address them:

1. To support the lending process, IT specialists with financial analyst skills must be trained.

2. Address issues related to obtaining an electronic digital signature (EDS). Not every citizen has access to a personal computer, and there are long lines at public service centers and software glitches; therefore, we propose that EDSs be obtained via smartphone.

3. Step up efforts to improve citizens' digital and financial literacy and conduct public awareness campaigns. To this end, organize and conduct

video tutorials and interactive courses tailored to different groups of citizens (youth, rural residents, large families, etc.) and lending programs, as well as language groups (Kazakh, Russian). To assess the effectiveness of these efforts, monitoring and analysis should be conducted (surveys, online chats, testing, etc.).

4. The simplified program should be targeted at citizens with special housing needs. Certain categories of citizens (military personnel, families with many children, low-income individuals, people with disabilities, etc.) are eligible for benefits; however, there are cases where they rent out the housing they have received. Restrictive measures must be put in place.

5. Housing prices should not be directly dependent on the growth of household incomes. The Government of the Republic of Kazakhstan must implement measures to reduce inflation, which drives up housing prices and erodes the purchasing power of money.

Citizens should not be skeptical about the use of digital technologies in mortgage lending in Kazakhstan. Although the use of digital technologies speeds up the mortgage lending process and makes it more convenient, it may not contribute to the expansion of banking services. Therefore, to develop the mortgage market, it is necessary not only to embrace digitalization but also to introduce high-quality service products; otherwise, there is a risk of a decline in the quality of customer service.

If the government is interested in ensuring adequate mortgage lending for certain segments of the population, there are various ways to do so without distorting market processes. One effective method is to reduce monthly mortgage payments by transferring monthly government subsidies directly to the borrower, or the government could reimburse the borrower for part of the down payment.

A comparative analysis of international practices has shown that in developed countries, digital technologies are integrated into virtually every stage of the mortgage lending process, including remote customer identification, automated creditworthiness assessment, electronic document management, and digital registration of real estate transactions.

Thus, the implementation of these measures will ensure the security, reliability, and sustainable development of digital mortgages, striking a balance between technological innovation and the protection of the interests of all market participants, while providing a new level of access to housing.

Литература

1. Концепция развития цифровой трансформации, информационно- коммуникационных технологий и кибербезопасности на 2023–2029 годы / Постановление Правительства Республики Казахстан.-2023. -№ 269.URL: https://adilet.zan.kz. -Дата обращения: 15.02.2026.

2. Steven L., Andrew P. The Effects of Mortgage Credit Availability: Evidence from Minimum Credit Score Lending Rules // American economic journal: Economic policy. -2022. - 14(1). -P.240-276. DOI 10.1257/pol.20180229.

3. Quillian L., Lee J.J., Honoré B. Racial Discrimination in the U.S. Housing and Mortgage Lending Markets: A Quantitative Review of Trends, 1976–2016 // Journal Race and Social Problems. -2020. -Vol.12(1). -P. 13-28. DOI 10.1007/s12552-019-09276-x.

4. Konasani I. Digital Transformation of Mortgage Lending: Emerging Frameworks for Fractional Ownership, Subscription Payments, and Embedded Finance // Journal of Information Systems Engineering & Management. -2026. -Vol.11(2s). -P.367-375. DOI 10.52783/jisem.v11i2s.14387.

5. Тазабеков К.А., Жамкеева М.К., Конырбеков М.Ж. Анализ и оценка доступности жилья в Республике Казахстан // Вестник университета «Туран». -2021. -Т.(3). -С.33-42. DOI 10.46914/1562-2959-2021-1-3-33-42.

6. Deininger K., Hilhorst Th., Nkurunziza E., Zevenbergen J. Benchmarking property institutions: conceptual background and evidence from 85 jurisdictions //World Development. -2026. -Vol.202:107354. DOI 10.1016/j.worlddev.2026.107354.

7. Петрова Л.А., Кузнецова Т.Е. Цифровизация банковской системы: цифровая трансформация среды и бизнес-процессов // Финансовый журнал. - 2020. -Т.12(3). - С.91-101. DOI 10.31107/2075-1990-2020-3-91-101.

8. Basten C., Ongena S. Mortgage lending through a fintech web platform. The roles of competition, diversification, and automation // Journal of Banking & Finance. -2024. -V.163:107194. DOI 10.1016/j.jbankfin.2024.10719.

9. Lee L. Enhancing Financial Inclusion and Regulatory Challenges: A Critical Analysis of Digital Banks and Alternative Lenders Through Digital Platforms, Machine Learning, and Large Language Models Integration. – 2024.- 17p. DOI 10.2139/ssrn.4799209

10. Romero C. L. Digital Disruption in U.S. Mortgage Markets: Fintech' s Local Impact on Access and Competition. - 2024. -37 p. DOI 10.2139/ssrn.4799209.

11. Ұлттық статистика бюросы. Тұрғынүйқорытуралы. - 2025. URL: https://stat.gov.kz. -Дата обращения: 02.02.2026.

12. Обеспеченность жильём, развитие социального и арендного рынка в РК и мире. – 2022. URL: https://ranking.kz. - Дата обращения: 5.02.2026.

13. Что ждет рынок недвижимости в 2022 году. -2022. URL: https://kapital.kz. -Дата обращения: 02.02.2026.

14. Айтжанбайқызы Г. Құрылыс материалдарының бағасы өсті / Егемен Қазақстан. -2025. URL: https://egemen.kz.-Дата обращения: 02.02.2026.

15. Рынок ипотечного кредитования Республики Казахстан за 2025 год. -2025. URL: https://khc.kz. -Дата обращения: 02.02.2026.

16. Пчелянская И. Ипотека «7-20-25»: как подать заявку. -2025. URL: https://krisha.kz. -Дата обращения: 08.02.2026.

17. Отбасы Банк. Финансовая и годовая отчетность. -2024. URL: https://hcsbk.kz. -Дата обращения: 08.02.2026.

18. О мерах по реализации Послания Главы Государства к народу Казахстана от 8 сентября 2025 года «Казахстан в эпоху искусственного интеллекта: актуальные проблемы и их решение посредством радикальных цифровых преобразований» / Указ Президента Республики Казахстан. -2025. -№1042. URL: https://adilet.zan.kz. - Дата обращения: 08.02.2026.

19. Мақаш А. Цифрлық ипотека іске қосылды / Егемен Қазақстан. -2025. URL: https://egemen.kz. -Дата обращения: 08.02.2026.

20. О реализации пилотного проекта по онлайн-регистрации нотариальных сделок купли-продажи недвижимости (жилья второго класса) в рамках проекта «Цифровая ипотека» / Совместный приказ Министра юстиции Республики Казахстан № 467 от 25 августа 2025 года и Министра цифрового развития, инноваций и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан № 440/НН от 27 августа 2025 года. -2025. URL: https://adilet.zan.kz. - Дата обращения: 08.02.2026.

21. Государственные услуги и информация онлайн. Ипотечное кредитование сегодня https://egov.kz - Дата обращения: 08.02.2026.

22. eGovernment - Digital Land Register (KRIS)E-Land Register Estonia; https://interoperable-europe.ec.europa.eu Date of access: 08.02.2026.

23.HM Land Registry: Sign your mortgage deed. gov.uk https://www.gov.uk.- Date of access: 08.02.2026.

24. USBank. The benefits of eClosing on a home and how it works. https://www.usbank.com.- Date of access: 08.02.2026.

25. Monetary authority of Singapore https://www.mas.gov.sg.- Date of access: 08.02.2026.

26. «Стоп кредит»: как один цифровой инструмент защищает от мошеннических займов. -2025. URL: https://fingramota.kz/ru/news/post/stop-kredit-kak-odin-cifrovoj-instrument-zashchishchaet-ot-moshennicheskih-zajmov. - Дата обращения: 08.02.2026.

References

1. Koncepcija razvitija cifrovoj transformacii, informacionno- kommunikacionnyh tehnologij i kiberbezopasnosti na 2023–2029 gody / Postanovlenie Pravitel’ stva Respubliki Kazahstan.-2023. -№ 269.URL: https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2300000269. -Data obrashhenija: 15.02.2026. [in Russian]

2. Steven L., Andrew P. The Effects of Mortgage Credit Availability: Evidence from Minimum Credit Score Lending Rules // American economic journal: Economic policy. -2022. - 14(1). -P.240-276. DOI 10.1257/pol.20180229.

3. Quillian L., Lee J.J., Honoré B. Racial Discrimination in the U.S. Housing and Mortgage Lending Markets: A Quantitative Review of Trends, 1976–2016 // Journal Race and Social Problems. -2020. - Vol.12(1). -P. 13-28. DOI 10.1007/s12552-019-09276-x.

4. Konasani I. Digital Transformation of Mortgage Lending: Emerging Frameworks for Fractional Ownership, Subscription Payments, and Embedded Finance // Journal of Information Systems Engineering & Management. -2026. -Vol.11(2s). -P.367-375. DOI 10.52783/jisem.v11i2s.14387.

5. Tazabekov K.A., Zhamkeeva M.K., Konyrbekov M.Zh. Analiz i ocenka dostupnosti zhil’ ja v Respublike Kazahstan // Vestnik universiteta «Turan». -2021. -T.(3). -C.33-42. DOI 10.46914/1562-2959-2021-1-3-33-42.[in Russian]

6. Deininger K., Hilhorst Th., Nkurunziza E., Zevenbergen J. Benchmarking property institutions: conceptual background and evidence from 85 jurisdictions //World Development. -2026. -Vol.202:107354. DOI 10.1016/j.worlddev.2026.107354.

7. Petrova L.A., Kuznecova T.E. Cifrovizacija bankovskoj sistemy: cifrovaja transformacija sredy i biznes-processov // Finansovyj zhurnal. - 2020. -T.12(3). - S.91-101. DOI 10.31107/2075-1990-2020-3-91-101.[in Russian]

8. Basten C., Ongina S. Mortgage lending through a fintech web platform. The roles of competition, diversification, and automation // Journal of Banking & Finance. -2024. -V.163:107194. DOI 10.1016/j.jbankfin.2024.10719.

9. Lee L. Enhancing Financial Inclusion and Regulatory Challenges: A Critical Analysis of Digital Banks and Alternative Lenders Through Digital Platforms, Machine Learning, and Large Language Models Integration. – 2024.- 17p. DOI 10.2139/ssrn.4799209

10. Romero C. L. Digital Disruption in U.S. Mortgage Markets: Fintech’ s Local Impact on Access and Competition. - 2024. -37 p. DOI 10.2139/ssrn.4799209.

11. Ұлттық statistika bjurosy. Тұрғынүйқоryturaly. - 2025. URL: https://stat.gov.kz/industries/business-statistics/stat-inno-build/publications/477116/. -Data obrashhenija: 02.02.2026. [in Kazakh]

12. Obespechennost’ zhil’ jom, razvitie social’ nogo i arendnogo rynka v RK i mire. – 2022. URL: https://ranking.kz/reviews/other/reshenie-zhilishnogo-voprosa-obzor-globalnogo-opyta-odin-iz-dostupnyh-sposobov-razvitie-arendnogo-rynka.html. - Data obrashhenija: 5.02.2026. [in Russian]

13. Chto zhdet rynok nedvizhimosti v 2022 godu. -2022. URL: https://kapital.kz/real_estate/102926/chto-zhdet-rynok-nedvizhimosti-v-2022-godu.html. -Data obrashhenija: 02.02.2026. [in Russian]

14. Ajtzhanbajқyzy G. Құrylys materialdarynyң barasy өsti / Egemen Қazaқstan. -2025. URL: https://egemen.kz/article/385041-qurylys-materialdarynynh-baghasy-osti.-Data obrashhenija: 02.02.2026. [in Russian]

15. Rynok ipotechnogo kreditovanija Respubliki Kazahstan za 2025 God. -2025. URL: https://khc.kz/upload/sprint.editor/a69/7m7kcwd1dq2spo7olr3d317pb5ygu7pd.pdf. -Data obrashhenija: 02.02.2026. [in Russian]

16. Pcheljanskaja I. Ipoteka «7-20-25»: kak podat' zajavku. -2025. URL: https://krisha.kz/content/news/2025/2025-novyy-limit-po-7-20-25-rabotaet-li-ipoteka. -Data obrashhenija: 08.02.2026. [in Russian]

17. Otbasy Bank. Finansovaja i godovaja otchetnost'. -2024. URL: https://hcsbk.kz/ru/about-the-bank/reporting/. -Data obrashhenija: 08.02.2026. [in Russian]

18. O merah po realizacii Poslanija Glavy Gosudarstva k narodu Kazahstana ot 8 sentjabrja 2025 goda «Kazahstan v jepohu iskusstvennogo intellekta: aktual' nye problemy i ih reshenie posredstvom radikal' nyh cifrovyh preobrazovanij» / Ukaz Prezidenta Respubliki Kazahstan. -2025. -№1042. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2500001042. - Data obrashhenija: 08.02.2026. [in Russian]

19. Maқash A. Cifrlyқ ipoteka iske қosyldy / Egemen Қazaқstan. -2025. URL: https://egemen.kz/article/395050-tsifrlyq-ipoteka-iske-qosyldy. -Data obrashhenija: 08.02.2026. [in Kazakh]

20. O realizacii pilotnogo proekta po onlajn-registracii notarial' nyh sdelok kupli-prodazhi nedvizhimosti (zhil' ja vtorogo klassa) v ramkah proekta «Cifrovaja ipoteka» / Sovmestnyj prikaz Ministra justicii Respubliki Kazahstan № 467 ot 25 avgusta 2025 goda i Ministra cifrovogo razvitija, innovacij i ajerokosmicheskoj promyshlennosti Respubliki Kazahstan № 440/NN ot 27 avgusta 2025 goda. -2025. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/G25D0000467. - Data obrashhenija: 08.02.2026. [in Russian]

21. Gosudarstvennye uslugi i informacija onlajn. Ipotechnoe kreditovanie segodnja https://egov.kz/cms/en/articles/buy_sale/mortgage - Data obrashhenija: 08.02.2026. [in Russian]

22. eGovernment - Digital Land Register (KRIS)E-Land Register Estonia; https://interoperable-europe.ec.europa.eu Date of access: 08.02.2026.

23.HM Land Registry: Sign your mortgage deed. gov.uk https://www.gov.uk.- Date of access: 08.02.2026.

24. USBank. The benefits of eClosing on a home and how it works. https://www.usbank.com.- Date of access: 08.02.2026.

25. Monetary authority of Singapore https://www.mas.gov.sg.- Date of access: 08.02.2026.

26. «Stop kredit»: kak odin cifrovoj instrument zashhishhaet ot moshennicheskih zajmov. -2025. URL: https://fingramota.kz/ru/news/post/stop-kredit-kak-odin-cifrovoj-instrument-zashchishchaet-ot-moshennicheskih-zajmov. - Data obrashhenija: 08.02.2026.

Information about authors

Abdeshova A.Sh. - Master of Economics, Senior Lecturer, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: alberta_alberta81@mail.ru;

Tyumambaeva A.G. - Senior Lecturer, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian and technical University, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: Aislu.GT@mail.ru.

Duskaliyev A.S. - Candidate of economic Sciences, Associate Professor, Narxoz University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: asylbek.duskaliev@narxoz.kz.

Сведения об авторах

Абдешова А.Ш.- магистр экономических наук, старший преподаватель, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Уральск, Казахстан, e-mail: alberta_alberta81@mail.ru;

Тюмамбаева А. Г. - старший преподаватель, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Уральск, Казахстан, e-mail: Aislu.GT@mail.ru;

Дускалиев А.С. - кандидат экономических наук, ассоциированный профессор, Университет Нархоз, Алматы, Казахстан, e-mail: asylbek.duskaliev@narxoz.kz.

МРНТИ 06.71.57 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1461**

ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ЖАҢҒЫРТУ ЖАҒДАЙЫНДА ҚАЗАҚСТАННЫҢ ТУРИСТІК САЛАСЫНЫҢ БӘСЕКЕГЕ ҚАБІЛЕТТІЛІГІН БАҒАЛАУ МЕН АРТТЫРУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ-ӘДІСТЕМЕЛІК ТӘСІЛДЕРІ

[1]А.С. Кыпшакбаева, [1]А.И. Естурлиева, [2]Г.Д. Тасанова, [2]А.Ж. Асаинов, [2]Б.М. Баядилова

[1]Ш.Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, Ақтау, Қазақстан
[2]Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан

Корреспондент-автор: gulviratasanova@yandex.ru

Туризм әлемдік экономиканың жетекші және серпінді салаларының бірі болып табылады. Жылдам өсу қарқынын, жоғары бәсекеге қабілеттілікті көрсете отырып, туризм әлеуметтік-экономикалық өсу мен дамудың катализаторы бола отырып, экономиканың негізгі салаларына үлкен әсер етеді. Қазақстанның туризм саласын трансформациялау, жаңа инновациялық технологияларға көшу ұлттық экономиканы әртараптандырудың, оның бәсекеге қабілеттілігінің негізгі факторы болып табылады.

Туризмге амбициялық міндеттер жүктелді-оның Қазақстанның ЖІӨ құрылымындағы үлесін 2030 жылға қарай 1,6-дан 8% - ға дейін ұлғайту. Қарқынды өзгеріп жатқан әлемде экономиканың цифрлық технологиялық платформаларға көшуі өнімділіктің одан әрі өсуіне және еңбекті интеллектуализациялауға, экономиканың барлық сегменттерінде күнделікті еңбектің жедел босатылуына ықпал етеді. Мақалада туризм саласында цифрлық технологияларды қолданудың отандық және шетелдік тәжірибесі талданады.

Шетелдік тәжірибені зерделей отырып, Қазақстанда саланы цифрландырудың пәрменді құралы ретінде неғұрлым табысты бизнес-модельдерді, технологияларды, процестерді белсенді пайдалану және бейімдеу қажет.

Зерттеудің мақсаты туризм саласында IT-технологияларды ілгерілету саласындағы экономикалық және институционалдық сипаттағы бар кедергілерді талдау болып табылады. Тұтастай алғанда, мақаладағы ұсыныстар бірыңғай маркетингтік стратегияны қалыптастыруға, жоғары сапалы инфрақұрылымды қамтамасыз етуге, саланы әртараптандыруға және бәсекелестік артықшылықтарды арттыру және әлемдік туристік ағындарға интеграциялау мақсатында Цифрлық платформаларға ауыстыруға бағытталған.

Түйін сөздер: бәсекеге қабілеттілік, туризм, туризмді әртараптандыру, цифрлық экономика, цифрландыру, ақпараттық-коммуникациялық технологиялар, инновациялық статистикалық платформа, онлайн-қызметтер.

THEORETICAL AND METHODOLOGICAL APPROACHES TO ASSESSING AND INCREASING THE COMPETITIVENESS OF THE TOURISM INDUSTRY OF KAZAKHSTAN IN THE CONTEXT OF TECHNOLOGICAL MODERNIZATION

[1]A.S. Kypshakbayeva, [1]A.I. Yesturliyeva, [2]G.D. Tasanova, [2]A.Z. Assainov, [2]B.M. Bayadilova

[1]Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yesenov, Aktau, Kazakhstan,
[2]Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhanov, Astana, Kazakhstan,
e-mail: gulviratasanova@yandex.ru

Tourism is one of the leading and most dynamic sectors of the world economy. Demonstrating rapid growth rates, high competitiveness, tourism has a great impact on the main sectors of the economy, being a catalyst for socio-economic growth and development. The transformation of the tourism industry of Kazakhstan, the transition to new innovative technologies is the main factor in the diversification of the national economy, its competitiveness.

Tourism has been given ambitious tasks-to increase its share in the structure of Kazakhstan' S GDP from 1.6 to 8% by 2030. In a rapidly changing world, the transition of the economy to digital technology platforms contributes to further productivity growth and intellectualization of Labor, the accelerated release of daily labor in all segments of the economy. The article analyzes the domestic and foreign experience of using digital technologies in the field of Tourism.

Studying foreign experience, it is necessary to actively use and adapt the most successful business models, technologies, processes as an effective tool for digitalization of the industry in Kazakhstan.

The purpose of the study is to analyze the existing barriers of an economic and institutional nature in the field of promoting IT technologies in the field of Tourism. In general, the recommendations in the article are aimed at forming a single marketing strategy, ensuring high-quality infrastructure, diversifying the industry and transferring it to digital platforms in order to increase competitive advantages and integrate into world tourist flows.

Keywords: competitiveness, tourism, tourism diversification, digital economy, digitalization, information and communication technologies, innovative statistical platform, online services.

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ И ПОВЫШЕНИЮ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ТУРИСТСКОЙ ОТРАСЛИ КАЗАХСТАНА В УСЛОВИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ

[1]А.С. Кыпшакбаева, [1]А.И. Естурлиева, [2]Г.Д. Тасанова✉, [2]А.Ж. Асаинов, [2]Б.М. Баядилова

[1]Каспийский универстит технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова, Актау, Казахстан,
[2]Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
e-mail: gulviratasanova@yandex.ru

Туризм является одной из ведущих и динамичных отраслей мировой экономики. Демонстрируя быстрые темпы роста, высокую конкурентоспособность, туризм оказывает большое влияние на основные отрасли экономики, являясь катализатором социально-экономического роста и развития. Трансформация туристской отрасли Казахстана, переход на новые инновационные технологии являются основным фактором диверсификации национальной экономики, ее конкурентоспособности.

На туризм возложены амбициозные задачи-увеличить его долю в структуре ВВП Казахстана с 1,6 до 8% к 2030 году. В быстро меняющемся мире переход экономики на цифровые технологические платформы способствует дальнейшему росту производительности и интеллектуализации труда, ускоренному высвобождению ежедневного труда во всех сегментах экономики.

В статье анализируется отечественный и зарубежный опыт применения цифровых технологий в сфере туризма. Изучая зарубежный опыт, необходимо активно использовать и адаптировать наиболее успешные бизнес-модели, технологии, процессы как действенный инструмент цифровизации отрасли в Казахстане.

Целью исследования является анализ существующих барьеров экономического и институционального характера в области продвижения IT-технологий в сфере туризма. В целом предложения в статье направлены на формирование единой маркетинговой стратегии, обеспечение качественной инфраструктуры, диверсификацию отрасли и переход на цифровые платформы с целью повышения конкурентных преимуществ и интеграции в мировые туристические потоки.

Ключевые слова: конкурентоспособность, туризм, диверсификация туризма, Цифровая экономика, цифровизация, информационно-коммуникационные технологии, инновационная статистическая платформа, онлайн-услуги.

Кіріспе. Қазақстан қазіргі әлемдік аренада тек бай табиғи ресурстарымен және үлкен аумағымен ғана емес, сонымен қатар өзіндік тарихы, мәдени мұрасы, дәстүрлері бар тәуелсіз мемлекет ретінде де ерекшеленеді. Елдің жетістіктері мен дамуы туралы ақпараттың алмасу мүмкіндіктерінің кеңеюі, тарихи, діни, мәдени дәстүрлерін көрсету, сондай-ақ экономика мен саясат саласының ерекшеліктерін жеткізу мемлекеттің имиджін қалыптастыруға ықпал етеді. Оңтайлы имидж мемлекет, өңір немесе сала үшін инвестициялық тартымдылықты арттыруға, сондай-ақ туризм саласын дамытуға септігін тигізеді.

Туризм тек экономикалық қызмет түрі ретінде ғана қарастырылмайды, ол сонымен қатар экономикалық өсімнің факторы, халықтың өмір сүру сапасын жақсартушы және экономиканың негізгі драйвері болып табылады. Сол себепті экономиканың және туристік саланың бәсекеге қабілеттілігін арттыру, әсіресе ақпараттық технологиялардың тиімді дамуынсыз мүмкін емес. Қазақстан экономикасының цифрлық трансформацияға көшуі ақпараттық қоғамның қалыптасуына, азаматтар үшін ақпараттық инфрақұрылымның қолжетімділігінің артуына, бизнес жүргізуге жаңа мүмкіндіктерге және технологиялық жаңғырту жағдайында айтарлықтай экономикалық және әлеуметтік артықшылықтарға жол ашады.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу материалы ретінде келесі ресми және бағдарламалық құжаттар қолданылды:

- «Қазақстан – 2030» Стратегиясы;

- «Қазақстан Республикасының кейбір заңнамалық актілеріне цифрландыру, көлік және кәсіпкерлік мәселелері бойынша өзгерістер мен толықтырулар енгізу туралы» 2026 жылғы 9 қаңтардағы № 256-VIII Заңы;

- «Қазақстан Республикасының цифрлық кодексі»;

- «Қазақстан Республикасының туристік саласын дамытудың 2030 жылға дейінгі Тұжырымдамасы» 2026 жылғы 9 қаңтардағы № 255-VIII ҚРЗ.

Зерттеудің мақсаттарына жету үшін деректерді іздеу және библиографиялық шолу жүргізілді, сондай-ақ шетелдік және отандық ғылыми басылымдар, журналдар мен ресми құжаттар қаралды. Ақпараттық ресурстар ретінде ұлттық баяндамалар, туризм саласындағы жаңа технологияларды дамыту бойынша халықаралық деректер, сонымен қатар Дүниежүзілік саяхат және туризм кеңесі (WTTC) жүргізетін елдердің туризм индустриясының бәсекеге қабілеттілігін бағалау материалдары пайдаланылды.

Зерттеуде туризм саласын жаңғырту және цифрлық технологияларға көшіру жағдайында жаңа технологияларды енгізу мәселелері қарастырылды. Отандық және шетелдік авторлардың іргелі және қолданбалы зерттеулері әдістемелік негіз ретінде қолданылды. Бұл зерттеу әдісі теориялық және сараптамалық талдау әдістерін қамтиды.

Сонымен қатар, зерттеу шеңберінде әлемдік туризм трендтері, ұлттық экономиканың оларды қабылдау қабілеті және жаңа технологияларды тиімді пайдалану мүмкіндіктері жүйелі түрде талданды. Осы арқылы туризм саласында цифрлық технологияларға сұраныстың негіздемесі берілді.

Нәтижелер және талқылау. Зерттеу нәтижелері туризм саласын дамытудың стратегиялық мақсаты ұлттық туристік индустрияны әлемдік туристік нарық жүйесіне толыққанды кіріктіре алатын, жоғары тиімділікке ие, заманауи талаптарға жауап беретін және бәсекеге қабілетті кешенді құрылым қалыптастыру болып табылатынын көрсетті. Туристік секторды мемлекеттік деңгейде қолдау мәселесі ел Президенті мен Үкіметтің тұрақты назарында екендігі байқалады [1]. Мұны Қазақстан Республикасының туристік саласын дамытудың 2030 жылға дейінгі жаңа тұжырымдамасының қабылдануы айқын дәлелдейді. Аталған стратегиялық құжатта экономикалық, әлеуметтік және технологиялық сипаттағы маңызды әрі іргелі міндеттер белгіленген.

Мемлекет басшысының Қазақстан халқына арнаған жыл сайынғы жолдауларында ұлттық экономиканы жаңғырту, халықтың әл-ауқатын

арттыру, табыс пен өмір сүру сапасын жақсарту, сондай-ақ цифрлық экономикаға көшу қажеттілігі ерекше аталып өтеді. Бұл міндеттер туризм саласына да тікелей қатысты, себебі туристік индустрия қазіргі кезеңде технологиялық жаңғыртуды талап ететін экономиканың маңызды секторларының бірі болып отыр.

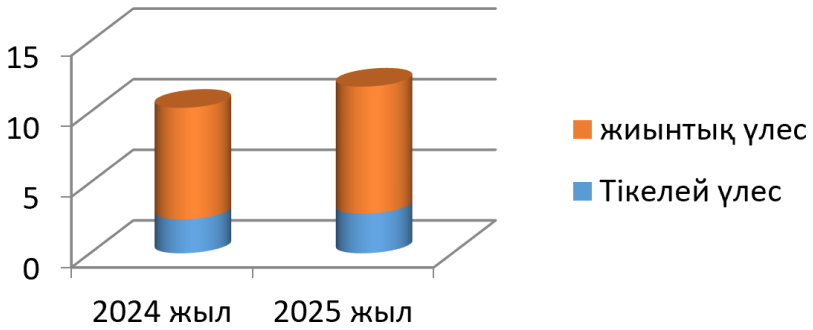
Қазіргі таңда әлемде туризм саласында цифрландырудың рөлі өте маңызды болып отыр. Ол еңбек өнімділігінің артуына, негізгі өндіріс пен оған байланысты салалардағы жұмыс орындарының көбейуіне, толық, дәл және уақтылы ақпарат алу мүмкіндігіне, сондай-ақ басқару сапасына тікелей ықпал етеді. UNWTO болжамы бойынша, туризм индустриясының әлемдік ЖІӨ-ге қосқан үлесі 2030 жылға қарай шамамен 10% деңгейінде өседі (9,2 трлн. долл.), бұл ретте тікелей салада 21 миллионнан астам жаңа жұмыс орны құрылуы мүмкін. Сонымен қатар, 325 млн адам туристік бағыт бойынша жұмыспен қамтылатын болады, бұл жалпы әлемдік жұмыспен қамтудың 10 пайызын құрайды. Дүниежүзілік туристік ұйым әлемнің барлық елдерінің үкіметтерін ақпараттық желілерді жетілдіру, инновациялық және инвестициялық ноу-хауды енгізу арқылы адами капиталын пайдаланып, жұмыс орындарын құрудағы туризмнің әлеуетін жүзеге асыруға шақырады. Қазіргі уақытта саяхат және туризм әлемдік жұмыс күшінің шамамен 11% құрайтын ең ірі жұмыс орындарының көзі болып отыр. Туризмнің экономикалық әсері оның ЖІӨ-ге қосқан үлесімен, валюталық түсімдерімен және жұмысқа орналасу мүмкіндіктерімен анық көрінеді. Технологиялардың жаһандық интеграциясы туризм индустриясына енуде және оны бірқатар ірі технологиялар арқылы қолдауда. Туристік өнімдерге сұраныстың өсуі цифрлық платформаларды енгізу арқылы технологиялардың кең спектрін, әсіресе цифрлық экономиканы дамытудағы негізгі қозғаушы күштердің бірін қалыптастырды. Цифрлық технологиялар белгілі бір операцияларды айтарлықтай жеңілдетеді, ол үшін бұрын көп уақыт пен ресурстар қажет болатын [2].

Сандық экономиканың әртүрлі анықтамалары бар, алайда ең дәлірегі – цифрлық ақпараттық-коммуникациялық технологияларды пайдалана отырып жүзеге асатын экономикалық қатынастар жүйесі деп түсіну қажет. WTTC деректеріне сүйене отырып, 2024 жылы ішкі туристік шығыстар 3,4 млрд. USD құрады (салыстыру үшін, 2023 жылы – 3,0 млрд. USD). Бұл көрсеткіш резиденттердің Қазақстан ішінде іскерлік және демалыс мақсатында жасалған сапарларын қамтиды және ішкі туризмге қатысты тұтынуды сипаттайды. Халықаралық туристік шығыстарды сипаттау үшін “шетелдік келушілердің шығыстары” (Visitor Exports) көрсеткіші пайдаланылады, ол шетелдік келушілердің іскерлік және жеке мақсаттағы сапарларға, соның ішінде көлік шығындарына қатысты елде жасалған шығындарын көрсетеді. WTTC деректері бойынша Қазақстанда бұл көрсеткіш 2024 жылы 1,94 млрд. USD болды (2023 жылы - 1,7 млрд. USD). Сонымен қатар, 2024 жылы демалыс шығындары (Leisure spending) 4,57 млрд. USD құрады (2023 жылы - 4,0 млрд. USD), бұл ішкі демалысқа және шетелдік қонақтардың шығындарын қамтиды.

Туристік сектордың ел экономикасына әсерін көрсету үшін негізгі көрсеткіш - оның ЖІӨ құруға қосқан үлесі болып табылады. WTTC мәліметтері бойынша екі санат бар. Біріншісі - туризмнің ЖІӨ-ге тікелей қосқан үлесі (Travel and Tourism Direct contribution to GDP), ол туризммен тікелей байланысты салаларда құрылған ЖІӨ-ні қамтиды (мысалы, орналастыру орындары, туроператор қызметтері, жолаушылар көлігі, мейрамханалар, бос уақытты ұйымдастыру және т.б.). Бұл көрсеткіш туризм индустриясының импорттық және аралық өнімдерді сатып алуды шегергендегі ішкі туристік тұтынуды негізге ала отырып есептеледі, яғни экономикалық тұрғыдан туристік тұтыну арқылы құрылған қосылған құнды бағалайды. WTTC бағалауы бойынша, Қазақстанда туризмнің ЖІӨ-ге тікелей қосқан үлесі 2024 жылы 2,8 млрд. USD құрады (2023 жылы - 2,4 млрд. USD).

Екінші санат - туризмнің ЖІӨ-ге қосқан жиынтық үлесі (Travel and Tourism Total contribution to GDP), ол туризм индустриясының ЖІӨ-ге қосқан үлесін жанама әсерін ескере

отырып көрсетеді. Бұл көрсеткіш туризмнің тікелей үлесінен бөлек, туризмге инвестициялар, нарықтық емес мемлекеттік шығыстар (туризм саласындағы қолдау, үйлестіру, туристік өнімді жылжыту, туристік ақпараттық орталықтардың қызметін қамтамасыз ету, және мемлекет барлық салаларда жасайтын шығыстар) және туризм секторымен байланысты тауарлар мен қызметтерді сатып алу арқылы өндірілген экономикалық әсерді қамтиды. WTTC деректері бойынша 2024 жылы бұл көрсеткіш Қазақстанда 9,0 млрд. USD құрады (2023 жылы - 7,9 млрд. USD).

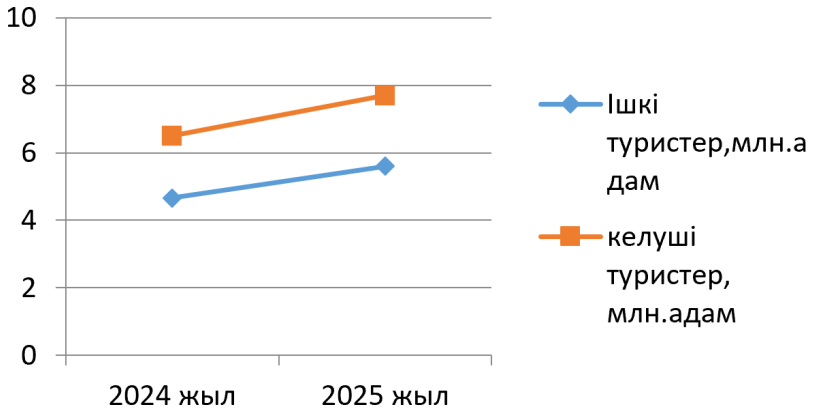


1-сурет. Қазақстанның секторының макроэкономикалық көрсеткіштерінің динамикасы (2024-2025жж.)

Ескерту - деректер авторлық талдау негізінде құрастырылды

1-Суретте көрсетілгендей, 2024 жылдан 2025 жылға дейінгі аралықта туризм саласының экономикаға қосқан тікелей үлесі 2,4 млрд.USD-ден 2,8 млрд. USD-ге дейін өсті. Сонымен қатар, саланың экономикаға қосқан жиынтық үлесі (Total contribution) 7,9 USD-ден 9,0 млрд. USD-ге дейін жетті. Бұл көрсеткіштер саладағы инвестициялық ағынның тиімділігін және туристік инфрақұрылымды цифрландырудың экономикалық нәтижелілігін айқындайды. Қалыптасқан ЖІӨ-сінің негізгі драйверлерінің біріне айналып келе жатқанын дәлелдейді.

Бизнес туризмге келетін болсақ, 2024 жылы оның көлемі 782,4 млн. USD деп бағаланды (2023 жылы – 700 млн. USD), бұл ҚР азаматтары мен шетелдік келушілердің бизнес сапарларына жасалған шығындарды қамтиды.2024 жылы ішкі туристер саны 2023 жылмен салыстырғанда 20,2% өсті және 5,6 млн адамға жетті, ал Қазақстанға келуші туристер 7,7 млн-ға жетіп, 2023 жылмен салыстырғанда 18,3% артты. Сонымен қатар, елден тыс сапарларға 10,2 млн адам шықты, бұл 2023 жылмен салыстырғанда 5,2% артық.



2-сурет. Қазақстанға келушілер мен ішкі туристер ағынының динамикасы (2024-2025жж.)

Ескерту - деректер авторлық талдау негізінде құрастырылды

2-Суретте берілген деректер туристік ағынның екі бағытта да тұрақты өсімін көрсетеді.2024 жылмен салыстырғанда, 2025 жылы ішкі туристер саны 20,2%-ға (4,66-дан 5,6-5а дейін), ал Қазақстанға келуші шетелдік туристер саны 18,3%-ға (6,5-тен 7,7 млн-ға дейін) артқан. Бұл серпін туристік нарықтың цифрлық қызметтерге сұранысының өскенін және саладағы инфрақұрылымдық мүмкіндіктердің кеңейіп келе жатқанын айғақтайды.

Қазақстан Статистика комитетінің деректері бойынша, көрсетілген кезеңде қазақстандық курорттар 12,4 млрд. теңге кіріс тауып, 2023 жылдың ұқсас көрсеткішіне қарағанда 26,5% арттырды.12 ай ішінде 815 қонақүй, санаторий және демалыс үйлері 979,5 мың қонақты қабылдады (2023 жылмен салыстырғанда 34% артық). Сонымен қатар, 2023 жылы өнер, ойын-сауық және демалыс бағыттарына 68,779 млн. теңге инвестиция салынды. Тұру және тамақтану қызметтеріне инвестиция көлемі 2023 жылы 80,780 млн. теңге, ал 2022 жылы 48,336 млн. теңге болды [3].

Осыған қарамастан, елдің ішкі туризмін дамытудың оң нәтижелеріне қарамастан, туризм саласындағы мемлекеттік инвестициялардың тиімділігін қамтамасыз ету міндеті өзекті болып қала береді. ҚазҰУ рекреациялық география және туризм кафедрасы жүргізген сауалнамада Қазақстанның туристік саласының қазіргі жай-күйіне (2023), даму проблемалары мен перспективаларына бағалау берілді. Зерттеуге отандық және шетелдік компаниялардың өкілдері, туроператорлар, мемлекеттік ұйымдар, қауымдастықтар, қонақ үйлер және т.б. қатысты. Респонденттер негізгі кедергілер ретінде тиісті инфрақұрылымның жоқтығын (34%), туристік қызметтердің шектеулі таңдауын (17%), кадрлардың біліктілігінің төмендігін (11%), мемлекеттік қолдаудың әлсіздігін (18%), күрделі визалық рәсімдерді (4%) және қызметтердің жоғары құнын (16%) атап өтті.

Қазіргі заманғы бәсекеге қабілетті туризм барлық қажетті инфрақұрылымдарды қамтиды: мобильді көлік, дамыған қонақ үй бизнесі, мейрамханалар мен кафелер желісі, ойын-сауық және мәдени нысандар кешені, сондай-ақ АКТ саласында толық цифрландыру. Туристік бизнесте цифрландырумен қатар қауіпсіздік, қылмыс, зорлық-зомбылық пен терроризмнің болмауы және полиция қызметінің сенімділігі маңызды. Қауіпсіздік маңызды факторға айналып, уақыт пен кеңістікке байланысты локализацияланған белсенді элементке жетті. Сапардың қауіпсіздігі жаһандық мәселе болып табылады. Қоғамдық қауіпсіздік, денсаулық сақтау, гигиена – таза ауыз су, вакцинация, дәретханалардың тазалығы – негізгі бағыттарға жатады. Алайда, бар тәуекелдер халықаралық деңгейде әлі де толық қарастырылмайды [4].

Цифрландыру мен қауіпсіздік туризм индустриясында жаңа өнімдерге, қызметтерге және инфрақұрылымға инвестициялау кезінде туындайтын қиындықтарды жеңудің негізгі бәсекелестік факторлары болып табылады. Туризмді әртараптандыру саланың ұзақ мерзімді тиімділігін арттыруға бағытталған. Әлемдік және ішкі нарықтағы бәсекелестік туристік фирмаларды жаңа технологияларды қолдануға және динамикалық өзгеретін тұтынушы сұраныстарына сәйкес келуге итермелейді. Әртараптандыру жаңа туристік өнімдер мен қызметтердің пайда болуын білдіреді. Қазақстанда MICE-туризм, мәдени, археологиялық және қасиетті туризм, табиғатта демалу, медициналық, спорттық және этнотуризм қарқынды дамуда [5].

Әртараптандыру тәуекелдерді азайтуға, тиімділікті арттыруға және қызметтің жаңа салаларын игеруге мүмкіндік береді. Ол экономикалық қызмет түрлерін кеңейтіп, олардың бәсекелестік артықшылықтарын күшейтеді. Туристер заманауи технологияларды көбірек пайдаланады: смартфон арқылы қаланың көрікті жерлерін, аудио гидтерді, музей жұмыс уақытын, такси мен кешкі асқа тапсырыс беру мүмкіндігі бар. Туристік қосымшалар тек функционалды ғана емес, туристік сұраныс пен маршруттардың маңызды бөлігіне айналды.

Саяхат технологиясы ақпараттық және коммуникациялық технологияларды туризм және қонақжайлылық индустриясында қолдануды қамтиды. Ол компьютерлік брондау жүйелерінен бастап, виртуалды туризмге дейінгі кең спектр-

ді қамтиды. Цифрлық дәуірде Booking.com, Expedia.com, Airbnb, Aviasales сияқты қызметтер танымал. Тапсырыстар бірнеше минутта расталады, сапарды бірнеше басу арқылы жоспарлауға болады. Дамыған елдерде Saber Travel Network Central Asia, TripCase сияқты көпфункционалды мобильді қосымшалар сұранысқа ие. Қазақстанда онлайн-туризм сегменті әлі толық дамымаған: негізінен қонақүй мен авиабилеттерді брондау мен төлеу ғана кеңінен қолданылады [6].

Шетелдік тәжірибеде туристердің 74% саяхатын онлайн жоспарлайды. Түркия “туризм 4.0” бағытында цифрлық маркетингке инвестиция салады. Азия елдері үкіметтік деңгейде цифрлық трансформацияға кірісті. Шри-Ланка маусымда елдің цифрлық промосын іске қосып, 2,5 млн туристті тартуды жоспарлап отыр. Индонезия ITX желісін іске қосып, 2000 түрлі үйді брондауға мүмкіндік берді. Камбоджаның Camboticket платформасы бірнеше елде автобустар, паромдар, жеке такси қызметтерінде бір уақытта орын брондауға мүмкіндік береді.

Әлемдік туристік нарықта жаңа маршруттар мен дәстүрлі көшбасшылармен бәсекелес елдер тез дамуда. Дегенмен, елдер мен өңірлердің әлеуметтік-экономикалық дамуының әртүрлі деңгейі халықаралық туристік ағындардың біркелкі емес динамикасына әсер етеді. Бәсекелестік позицияларды бағалау тиімділік көрсеткіштері мен әдістемеге байланысты ерекшеленеді. Қазіргі тәжірибеде жалпыға қол жетімді статистикалық мәліметтер мен сараптамалық бағалау қолданылады [7]. Ең танымал бағалаушы - WTTC, ал WEF өз баяндамасында туризм индустриясының тартымдылығына әсер ететін факторларды сипаттайды. Екі жылда бір рет жарияланатын баяндама туризм секторының тұрақты дамуына ықпал ететін факторларды талдайды. Барлық факторлар туризм мен саяхаттың бәсекеге қабілеттілік индексінде біріктіріледі, бұл 136 ел үшін есептеледі. Индекс 14 бөлек компонент негізінде анықталады.

1-кесте.2024 жылғы туризмнің бәсекеге қабілеттілік индексінің көрсеткіштері

Негізгі көрсеткіштер	Орын	Негізгі көрсеткіштер	Орын
АКТ саласындағы дайындық	52	Адами ресурс және еңбек нарығы	38
Денсаулық сақтау және гигиена	4	қауіпсіздік	47
Бизнес-орта	31	Баға бәсекеге қабілеттілігі	6
Экологиялық тұрақтылық	91	Әуе көлігінің инфрақұрылымы	67
Жер үсті және порт инфрақұрылымы	88	Туристік қызметтердің инфрақұрылымы	88
Табиғи ресурстар	85	Мәдени ресурстар және іскерлік сапарлар	69
Ескерту- кесте (The Travel & Tourism Competitiveness Report 2024) [8] негізінде құрастырылған			

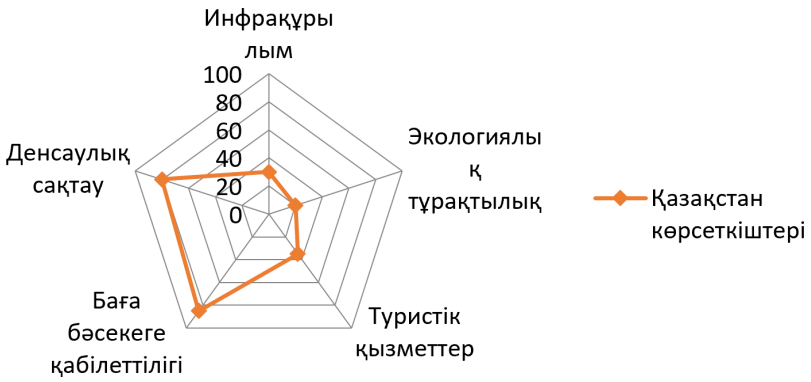
Қазақстанның әлемдік туристік рейтингтік позициясы 2024 жылы айтарлықтай жақсарды: Дүниежүзілік экономикалық форумның Travel and Tourism Development Index бойынша республика 119 елдің ішінде 52 ші орында тұр, бұл алдыңғы рет жарияланған рейтингпен салыстырғанда айтарлықтай өсу екендігін көрсетеді (бұрынғы рейтингте Қазақстан 66 шы орында болған).

3-суретте көрсетілгендей, Қазақстанның туристік секторы баға бәсекеге қабілеттілігі және денсаулық сақтау сааларында жоғары нәтижелер көрсетеді. Дегенмен, инфрақұрылымдық да-

му және экологиялық тұрақтылық көрсеткіштері қосымша цифрлық шешімдер мен кешенді инвестициялық қолдауды талап етеді.

Бұл мәселелерді шешу үшін туристік экожүйені толық цифрландыру – басымдылыққа ие бағыт.

Жаңа рейтингте Қазақстан бағалық бәсекеге қабілеттілік, денсаулық сақтау және гигиена және туристік саланың әлеуметтік экономикалық әсері сияқты факторлар бойынша жақсы көрсеткіштер жинаған.



3-сурет. Қазақстанның туристік бәсекеге қабілеттілік индексі бойынша көрсеткіштері (2025ж.)
Ескерту - деректер Travel & Tourism Development Index (2025) негізінде автормен талданды

Сонымен бірге, халықаралық сарапшылар Қазақстанның инфрақұрылым және қызмет көрсету саласы бойынша әлі де жақсарту қажет екенін атап көрсетеді. Бұл жағдай жалпы позиция елдің әлеуетінің жоғары екенін көрсетсе де, әлемдік деңгейдегі бәсекеге қабілеттілікті толық қамтамасыз ете алмай отырғанын білдіреді [9].

Қазақстан Республикасының туризм саласының әлемдік бәсекеге қабілеттілік индексіндегі бұл жоғарылау ел туристік қызметтерінің сапасы мен тартымдылығының артқанын көрсетеді. Дегенмен, инфрақұрылымдық бағыттарда (көлік, орналастыру, туристік сервис) кешенді өзгерістер мен инвестициялар қажет екені айқын көрінеді.

Жалпы алғанда, Қазақстанды басқа елдермен салыстырғанда туризмнің ЖІӨ ге қосқан үлесі, туристер саны және айналым көлемі әлі де жоғары деңгейге жетпесе де, қазіргі көрсеткіштер елдің туристік нарықта өсу әлеуетінің бар екенін айқын көрсетеді. Мұндай салыстырмалы мәліметтер екінші кестеде толық көрсетілген.

2024 жылғы әлемдік туризм статистикасының деректері Қазақстанның туристік саладағы жағдайын төмендегідей сипаттайды: жылдық айналым көлемі бойынша (млн. доллар) еліміз Ангола, Гватемала, Маврикий сияқты мемлекеттермен қатар орналасқан. ЖІӨ-дегі туристердің үлесі бойынша Қазақстан Украина, Македония және Моңғолия деңгейінде тұр. Ал бір жылдағы туристер саны бойынша біз Камбоджа, Филиппин, Албания сияқты елдермен теңестірілген жағдайдамыз (stattur.ru/statistics.php).

Қазақстандағы туризмнің дамуына әлі де бірқатар кедергілер бар. Солардың қатарында: халық тығыздығының төмендігі, нарық қатысушыларының біркелкі еместігі, нормативтік-құқықтық базаның жеткіліксіздігі, инфрақұрылымның дамуының төмен деңгейі, білікті кадрлардың тапшылығы және орналастыру қызметтерінің бағасының жеткіліксіз деңгейде болуы. Қазіргі таңда отандық туристік өнімнің сапасы мен қолжетімділігі жаһандық нарықта бәсекеге қабілетсіз болып, шетелдік баламалардан төмен тұр [10].

Бұл кедергілер аймақтық деңгейде айқынырақ көрінеді. Мәселен, Маңғыстау облысының ерекше табиғи-климаттық әлеуетіне қарамастан, көлік инфрақұрылымының және цифрлық көрсеткіштердің даму деңгейінің шектеулілігі ай-

мақтық туристік бәсекеге қабілеттілігін төмендетіп отыр.

Ресми статистикалық деректер мен туристік көрсеткіштер жүйесін жеке қарастыру қажет. Қолда бар мәліметтер кәсіпорындардың туристік сұранысты қанағаттандырудағы үлесін нақты бағалай алмайды. Туристік қосылған құн мен өнімді тұтынудың туристік үлесін есепке алатын арнайы статистикалық механизм жоқ. Мұндай объективті ақпарат шешім қабылдаушылар үшін маңызды болып табылады. Статистикалық деректер мен білім саяси шешімдердің ашықтығы мен тиімділігін арттырады, қазіргі қоғамның игілігіне қызмет етеді.

2-кесте. Туризм саласындағы әлемдік статистика (2024 ж.)

Ел	Ауданы, ш. м	ЖІӨ-дегі туризм үлесі,%	Бір жыл ішінде туристер,мың адам.	Туристік саладағы айналым бір жыл ішінде миллион долларды құрайды.	ЮНЕСКО-ның сәулет және табиғи нысандарының саны
Ресей	17 098 242	5,7	31 952	14 985	1 825
Қазақстан	2 727 900	5,3	9 200	1 896	49
Грузия	69 700	23,5	9 300	2 010	38
АҚШ	9 372 610	8,2	801 20	210 235	1 290
Өзбекстан	447 400	3,2	1 000	212	52
Франция	643 801	9,1	100 000	77 000	421
Швеция	450 295	9,6	17 500	10 700	168
Оңтүстік Корея	100 363	5,1	21 460	16 700	129
Жапония	377 975	7,9	36 870	21 594	178
Ескерту- кесте (https://stattur.ru/mira statistics.php)көзі негізінде құрастырылған					

Қазақстанның статистикасы цифрлық экономиканың маңызды құрамдас бөлігі ретінде туристік саладағы нақты процестер мен проблемаларды көрсетуі тиіс. Ол деректерді уақытында бақылап, заманауи цифрлық технологиялар арқылы өңдеуге, сақтауға, үлкен және құрылымдалмаған деректермен жұмыс істеуге мүмкіндік беруі керек. Алайда, қазіргі жағдайда ресми статистика саланың сандық және сапалық көрсеткіштерімен сәйкес келмейді. Деректер нақты, түсінікті және уақтылы емес; уақытша талдаудағы көрсеткіштер кешеуілдеп, ескірген; бірнеше жыл бойынша нақты әдіснама мен даму үрдісі көрсетілмеген. Мысалы, “Талдау” инновациялық статистикалық платформасы 2011 жылға дейінгі туризмді дамыту диаграммаларын ұсынады, бірақ жаңартылмайды.

Туристік өңірлер деңгейінде соңғы уақытта тауарлық ұсыныстың ұлғаюы, қызмет бағасының жалпы төмендеуі және туристік қызметтерді ілгерілету әдістерінің жетілдірілуі арқылы бәсекелестік арта бастады. Дегенмен, аймақтың бәсекеге қабілеттілігін арттыру үшін туристік кәсіпорындардың дамуы мен өңірдегі туризм индустриясының даму деңгейі теңгерімді болуы керек. Мысалы, егер аймақта тартымды туристік ресурстар мен орналастыру орындары болса, бірақ көлік инфрақұрылымы нашар болса,

онда ол өңір туристер үшін толыққанды тартымды болмайды және әлеуетінен қажетті пайда ала алмайды [9].

Әлемдік туристік нарықтағы бәсекелестіктің күшеюіне бірнеше фактор әсер етеді:

- әлемдік қаржы-экономикалық дағдарыстар салдарынан туристік ағындардың төмендеуі, нәтижесінде индустрия кәсіпорындары арасындағы бәсекелестіктің артуы;

- жаңа қатысушылардың пайда болуы, өздерін тартымды туристік бағыт ретінде белсенді насихаттайтын аймақтардың туристік ағынның елеулі бөлігін (әсіресе Азия және Африка елдерінен) өзіне тартуы;

- дәстүрлі емес, қызықты туристік түрлердің пайда болуы;

- туристік өнімдер мен туристер санының өсуі, бұл нарықтағы ұсыныстың қанықтылығына әкеледі.

Қазақстанның туристік саласы тек экономикалық пайда әкелумен шектелмейді, сонымен қатар елдің мәдени және тарихи имиджін қалыптастыруға елеулі әсер етеді. Мәдени туризмнің дамуы, археологиялық орындарға және тарихи ескерткіштерге саяхаттар, сондай-ақ этнотуризмнің кеңеюі Қазақстанның әртүрлі аймақтарын туристер үшін тартымды етеді. Елдегі ұлттық саябақтар мен қорықтар экологиялық туризмді дамытуға мүмкіндік беріп, табиғатқа қызығушылығы бар туристерді тартады. Бұл бағытта цифрлық платформалар арқылы экскурсиялар, виртуалды гидтер және маршруттық ұсыныстарды енгізу туристік тәжірибені жеңілдетеді және сапарды жоспарлауды ыңғайлы етеді.

Инфрақұрылымдық аспектілерге келетін болсақ, Қазақстанда әуе, теміржол және жол қатынасының дамуы туристік индустрияны қолдауға негіз болып табылады. Алайда, кейбір аймақтарда көлік инфрақұрылымы әлі де толық жетілмеген, бұл туристердің бір аймақтан екіншісіне қолжетімділігін шектейді. Сол себепті өңірлік дамуды арттыру үшін көлік жүйесін жаңғырту, қонақ үй желілерін кеңейту және ақпараттық қызметтерді цифрландыру маңызды. Сонымен қатар, білікті кадрларды дайындау, туристік қызмет көрсету сапасын арттыру және қызмет бағасын теңгерімді ету саланың жалпы бәсекеге қабілеттілігін арттырады.

Цифрландыру туризм индустриясын жаңа деңгейге көтерді. Смартфон қосымшалары, онлайн брондау жүйелері, әлеуметтік желілердегі маркетинг құралдары және виртуалды турлар туристерге сапарды жоспарлауды оңай және тиімді етеді. Мысалы, TripAdvisor, Booking.com, Airbnb платформалары туристерге нақты ақпарат ұсыну арқылы шешім қабылдауды жеңілдетеді, ал әлеуметтік желілер арқылы елдің туристік мүмкіндіктері туралы хабардарлық артады. Қазақстанда онлайн-туризмнің дамуы әлі бастапқы кезеңде болса да, халықаралық тәжірибені қолдану арқылы бұл секторды тез дамытудың әлеуеті бар [10].

Халықаралық деңгейде Қазақстанның туристік бағыт ретінде танылуы үшін маркетингтік стратегияларды дамыту, халықаралық көрмелер мен конференцияларға қатысу маңызды. Сонымен қатар, қауіпсіздік пен сапа мәселелерін шешу, туристердің сенімділігін арттыру және визалық жеңілдіктерді қамтамасыз ету елдің бәсекеге қабілеттілігін арттырады. Салыстырмалы түрде, Қазақстанның ЖІӨ-дегі туризм үлесі әлі төмен болса да, оның әлеуеті үлкен. Басқа елдердің тәжірибесін зерттеу, цифрлық және инфрақұрылымдық шешімдерді енгізу арқылы Қазақстан туризм индустриясында өз орнын нығайтып, аймақтық және халықаралық деңгейде тартымды бағытқа айнала алады. Бұл тек экономикалық өсімге ғана емес, елдің имиджіне, мәдени тәжірибеге және әлеуметтік даму деңгейіне де оң әсер етеді.

Қорытынды. Туризм қазіргі уақытта әлемдік экономикада маңызды және табысты сектор ретінде қалыптасты. Қазақстан үшін туристік саланы бәсекеге қабілетті әрі тиімді басқару экономиканың жалпы дамуы мен өңірлік теңгерімділікті қамтамасыз етудің басым міндеттерінің бірі болып табылады. Туризмді жетілдірудің кешенді стратегиясы сапа стандарттары мен арнайы критерийлерді енгізуге, бірыңғай маркетингтік стратегияны қалыптастыруға, жоғары сапалы инфрақұрылым мен қызмет көрсету деңгейін

гейін қамтамасыз етуге бағытталуы қажет.

Сонымен қатар, туристік ұсыныстардың әртараптандырылуы – мәдени, спорттық, медициналық, білім беру, экологиялық, этнографиялық және аграрлық бағыттарды қамтитын жаңа өнімдер мен қызметтердің дамуына негіз болады. Қатаң бәсекелестік жағдайында Қазақстан әлемдік туристік нарықта өз орнын нығайту үшін азықтүлік, логистика және технологиялық инновацияларды жедел енгізуі тиіс. Инновациялық процестер жаңа туристік өнімдерді дамытуға, бұрын нарықта болмаған турларды құруға мүмкіндік береді.

Қазіргі таңда сұранысқа ие саяхат түрлері – экстремалды, экзотикалық, тарихи, мәдени және этнографиялық бағыттар – кеңінен қолданылуы қажет. Технологиялық инновациялар аясында IT-технологияларды пайдаланып туристік саланы материалдық-техникалық қамтамасыз етудің жаңа нысандарын енгізу, қонақүйлер мен авиабилеттерді брондау және резервтеу жүйесін автоматтандыру, туристік маршруттардың қауіпсіздігін қамтамасыз ету, көліктік қызмет көрсету сапасын арттыру маңызды болып отыр.

Әлемдік тәжірибе мен заманауи инновациялық технологияларды қолдану, желілік платформаларды пайдалану және өздік цифрландыру шешімдерін енгізу Қазақстанға бірыңғай туристік бренд қалыптастырып, ұлттық туризмді халықаралық нарықта ілгерілетуге мүмкіндік береді. Бұл тәсіл арқылы еліміз туризм индустриясында әлемдік деңгейдегі жетекші елдермен бәсекеге қабілетті бола алады.

Қорытындылай келе, Қазақстанның туристік индустриясын жаңғырту- экономикалық өсімнің маңызды факторы. KITF секілді халықаралық алаңдарда қалыптасқан серіктестік қатынастар мен тәжірибе алмасу- ұлттық өнімді әлемдік нарыққа ілгерілетудің негізгі тетігі.

Болашақта туристік қызметтерді толық цифрлық экожүйеге көшіру және инновациялық маркетингтік стратегияларды тиімді пайдалану- еліміздің жаһандық туристік ағындардағы бәсекеге қабілеттілігін арттырудың басты кепілі болмақ.

Әдебиеттер

1. Приказ Министра туризма и спорта Республики Казахстан от 31 декабря 2025 года № 263 Об утверждении плана развития Министерства туризма и спорта Республики Казахстан на 2026-2030 годы. -Астана. -2025. URL: https://prg.kz/document/?doc_id=31980757. - Қаралған күні: 04.01.2026.

2. Индикаторы цифровой экономики: 2024: статистический сборник / В.Л. Абашкин, Г.И. Абдрахманова, К.О. Вишневский, Л.М. Гохберг и др.; И60 Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». - М.: ИСИЭЗ ВШЭ, 2024. - 276 с. - ISBN 978-5-7598-3008-5 (в обл).

3. Тесленко И. Б. и др.Цифровая экономика: учеб. пособие //Изд-во ВлГУ-2020. -120 с. ISBN 978-601-332-579-8.

4. Омарова А.С., Борбасова З.Н., Улаков С.Н. Қазақстанның туристік индустриясын цифрлық трансформациялаудың экономикалық аспектілері//Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы. Экономика. -2025.-Т.3.-Б.383-396. DOI 10.32523/2789-4320-2025-3-383-396.

5. Токаев К.-Ж. Послание Главы государства Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана «Справедливый Казахстан: закон и порядок, экономический рост, общественный оптимизм». -2025. URL: https://www.akorda.kz. - Қаралған күні: 04.03.2026.

6. Садвакасова А., Ли М. Цифровая революция: трансформация туристической индустрии казахстана: цифрлық революция: қазақстанның туристік индустриясының трансформациясы// Вестник Карагандинского экономического университета. -2024. -№ 4(75)- С.27-33. DOI 10.52445/BKEU.2024.24.78.005

7. The Travel & Tourism Development index. – 2024. URL: https://www.weforum.org. –Қаралған күні: 04.01.2026

8. Қазақстан Республикасының Стратегиялық жопарлау және реформалау агенттігі Ұлттық статистика бюросы. Туризм саласындағы негізгі көрсеткіштер (2024-2025жж.) – Астана.2026-URL: https://stat.gov.kz. - Қаралған күні: 04.03.2026.

9. Бексултанова А.И. Цифровая экономика и ее влияние на традиционные отрасли//Тенция и развитие науки и образования. -2023. - Т.104. - С.76-79. DOI 10.18411/trnio-12-2024-264.

10. 23-Казахстанская международная выставка «Туризм и Путешествия» (KITF). - 2025. URL: https://onsite.iteca.kz/img/files/kitf/2025/KITF2025_PSR.pdf.- Дата обращения: 12.12.2025.

References

1. Prikaz Ministra turizma i sporta Respubliki Kazahstan ot 31 dekabrja 2025 goda № 263 Ob utverzhdenii plana razvitija Ministerstva turizma i sporta Respubliki Kazahstan na 2026-2030 gody. -Astana. -2025. URL: https://prg.kz/document/?doc_id=31980757. - Қаралған күні: 04.01.2026. [in Russian]

2. Indikatory cifrovoj jekonomiki: 2024: statisticheskij sbornik / V.L. Abashkin, G.I. Abdrahmanova, K.O. Vishnevskij, L.M. Gohberg i dr.; I60 Nac. issled. un-t «Vysshaja shkola jekonomiki». - M.: ISIJeZ VShJe, 2024. - 276 s. - ISBN 978-5-7598-3008-5 (v obl). [in Russian]

3. Teslenko I. B. i dr.Cifrovaja jekonomika: ucheb. posobie //Izd-vo VlGU-2020. -120 s. ISBN 978-601-332-579-8. [in Russian]

4. Omarova A.S., Borbasova Z.N., Ulakov S.N. Қазақстанның туристік industrijasyn cifrlyқ transformacijalaudyң jekonomikalyқ aspektileri//L.N. Gumilev atyndaғy Eurazija ұlttyқ universitetinің habarshysy. Jekonomika. -2025.-T.3.-B.383-396. DOI 10.32523/2789-4320-2025-3-383-396. [in Russian]

5. Tokaev K.-Zh. Poslanie Glavy gosudarstva Kasym-Zhomarta Tokaeva narodu Kazahstana «Spravedlivyj Kazahstan: zakon i porjadok, jekonomicheskij rost, obshhestvennyj optimizm». -2025. URL: https://www.akorda.kz/ru/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-spravedlivyy-kazahstan-zakon-i-poryadok-ekonomicheskiy-rost-obshchestvennyy-optimizm-285014. –Қаралған күні: 04.03.2026. [in Russian]

6. Sadvakasova A., Li M. Cifrovaja revoljucija: transformacija turisticheskoj industrii kazahstana: cifrlyқ revoljucija: қazaқstannyң turistik industrijasynyң transformacijasy// Vestnik Karagandinskogo jekonomicheskogo universiteta. -2024. - № 4(75)- S.27-33. DOI 10.52445/BKEU.2024.24.78.005[in Russian]

7. The Travel & Tourism Development index. – 2024. URL: https://www.weforum.org. –Қаралған күні: 04.01.2026

8. Қazaқstan Respublikasynyң Strategijalyқ zhoparlau zhәne reformalau agenttigi Ұlttyқ statistika bjurosy. Turizm salasyndaғy negizgi kөrsetkishter (2024-2025zhzh.) – Astana.2026-URL: https://stat.gov.kz/?utm. - Қaralғan kүni: 04.03.2026. [in Kazakh]

9. Beksultanova A.I. Cifrovaja jekonomika i ee vlijanie na tradicionnye otrasli//Tencija i razvitie nauki i obrazovanija. -2023. - T.104. - S.76-79. DOI 10.18411/trnio-12-2024-264. [in Russian]

10.23-Kazahstanskaja mezhdunarodnaja vystavka «Turizm i Puteshestvija» (KITF). - 2025. URL: https://onsite.iteca.kz/img/files/kitf/2025/KITF2025_PSR.pdf.- Data obrashhenija: 12.12.2025. [in Russian]

Авторлар туралы мәлімет

Қыпшақбаева А.С. - экономика ғылымдарының магистрі, Ш. Есенов атындағы Каспий технология және инжиниринг университеті, Ақтау, Қазақстан, e-mail: kypshakbayeva81@mail.ru;

Естурлиева А. и. - экономика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Ш. Есенов атындағы Каспий технология және инжиниринг университеті, Ақтау, Қазақстан, e-mail: estur2@mail.ru;

Тасанова Г. Д. - магистр сеньор-лектор. Қ. Құлажанова атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail:gulviratasanova@yandex.ru;

Асаинов А.Ж. - магистр сеньор-лектор. Қ. Құлажанова атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: arhat_asainov@mail.ru;

Баядилова Б.М. - PhD, ассистент-профессор, білім беру бағдарламалары басқармасының басшысы. Қ. Құлажанова атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: melisovna@mail.ru.

Information about the authors

Kypshakbayeva A.S. -Master of Economics, Sh. Yesenova Caspian University of Technology and Engineering, Aktau, Kazakhstan, e-maIl: kypshakbayeva81@mail.ru;

Yesturliyeva A.I. - Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Sh. Yesenova Caspian University of Technology and Engineering, Aktau, Kazakhstan, e-maIl: estur2@mail.ru;

Tasanova G.D. - Master' s Degree in Economics, Senior Lecturer, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: gulviratasanova@yandex.ru;

Assainov A.Z - Master' s Degree in Economics, Senior Lecturer, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: arhat_asainov@mail.ru;

Bayadilova B.M. - PhD, assistant professor, head of the Department of educational programs K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: melisovna@mail.ru.

Редактор: Оспанова М.К.
Верстка: Ундасынов Р.Е.
Подписано в печать: 30.06.2026 г.
Издание: АО «КазУТБ» 010000, Астана, Казахстан, ул. Кайыма Мухамедханова, 37 А,
Рабочий телефон: +7 (7172)72-58-12(134)
E-mail: vestnik@kaztbu.edu.kz