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

№ 4 (29) - 2025

ҚазТБУ хабаршысы

Вестник КазУТБ

Vestnik KazUTB



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

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

№ 4 (29) - 2025

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 - 2025
Astana - 2025

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**

А.А. Орманбекова, М.А. Джаманбаев, К.М. Жаскайратов, И.А. Берлисугиров, М.Б. Алиева
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СТАНЦИИ 1

Н.О. Мекебаев, Д.К. Даркенбаев Ж.А. Орынтаева, Н.А. Модовов
СИПАТТАМАЛЫҚ СПЕКТРОГРАММАЛАР МЕН НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІ НЕГІЗІНДЕ СӨЙЛЕУШІНІ ТАНУ 12

A.S. Seitenov, T.K. Zhukabayeva
AUTOMATION OF THE PROCESSES BASED ON MACHINE LEARNING FOR TELEMEDICINE INFORMATION SYSTEM 22

И.Н. Букенова, С.И. Компан, Г.С. Букенов, Б.А. Казангапова
СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ ДОПОЛНЕННОЙ ПОИСКОМ ГЕНЕРАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМ АНАЛИЗА НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ АКТОВ КАЗАХСТАНА 32

Н.С. Глазырина, Р.Р. Бирназаров, Ж.С. Есенгалиева
МОДУЛЬ КАТЕГОРИЗАЦИИ ТОВАРОВ ДЛЯ МАРКЕТПЛЕЙСА: АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ 47

А. Алтыбаев, С. Жұмағали, Е. Конысбаев, Б. Бекмухамедов К. Акишев
НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ 58

A.K. Aitim
BUILDING A HIGH-QUALITY ANNOTATED CORPUS FOR KAZAKH NLP: A PIPELINE APPROACH 70

И. Масырова, С.К. Джолдасбаев, А.Р. Гизатуллина, М.Ж. Жанадилов, О.К. Джолдасбаев, А.А. Орманбекова, С.Т. Мамбетов
ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ДИНАМИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ 85

А.Д. Тулегулов, К.М. Акишев, А.М. Джумагалиева, М.А. Байжарикова, С.М. Исаев
SLM ӘДІСІМЕН ҮШ ӨЛШЕМДІ ОБЪЕКТІНІ ҚАЛЫПТАСТЫРУ ПРОЦЕСІН АВТОМАТТАНДЫРУҒА АРНАЛҒАН БАҒДАРЛАМАЛЫҚ-ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРЫЛҒЫЛАР 97

Т.Т. Дузбаев, Т.Ж. Мазаков, Д.О. Байжанова, Ш.А. Джомартова, А.Т. Мазакова, Б.С. Амирханов, Г.А. Амирханова, А.С. Тыныкулова
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫПЕЧКИ ХЛЕБОБУЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ 105

D. Ganiuly, D. Kaibassova
REVIEW OF REAL-WORLD APPLICATIONS OF NLP-BASED KEYWORD IDENTIFICATION 112

B.B. Serbin, A.M. Kassenkhan, R.K. Uskenbayeva, Zh.B. Kalpeyeva
USER AUTHENTICATION IN MOBILE LEARNING: BEHAVIORAL ANALYSIS WITH GYROSCOPE AND ACCELEROMETER DATA 125

А.У. Калижанова, А.У. Утегенова, Е.А. Бекешев, М.А. Ворогушина, З.М. Рахимжанова
РАЗРАБОТКА МОДУЛЕЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КАРТОГРАФИЧЕСКОГО РЕСУРСА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ДАЛЬНЕЙШЕЙ ИНТЕГРАЦИИ С ДРУГИМИ ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ 139

Г.Б. Бахадирова, Н. Тасболатұлы, Д.Б. Баумуратова, А.С. Аканова, Ә.Қ. Әлімжан
ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ПИД-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ . . 149

И.С. Тажибай, Т.Ж. Мазаков, Ш.А. Джомартова, Ә.Т. Мазакова, А.Д. Майлыбаева, М.С. Алиаскар, Б.М. Мазакова
УСТОЙЧИВОСТЬ ДИНАМИКИ БЕСПИЛОТНОГО НАДВОДНОГО СУДНА 161
G.B. Turebaeva, Zh.B. Doshakova
METHODS OF MODELING PHYSICAL PROCESSES IN MATHCAD 169
G.M. Mutanov, S.T. Amanzholova, O.A. Ussatova, L.S. Aldasheva, A.S. Amirova
A COMPREHENSIVE REVIEW OF INFORMATION SYSTEMS FOR SCIENTIFIC PROJECT ASSESSMENT 179
А.А. Құттыбек, Н.М. Казиева, А.С. Амирова, Д.А. Рюмин
МӘТІНДІК ДЕРЕКТЕРДЕ КРИМИНАЛИСТИКАЛЫҚ ТАЛДАУ ЖҮРГІЗУГЕ АРНАЛҒАН ТЕРЕҢ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІ МОДЕЛІН ҚҰРУ 191
Б.Ғ. Әбілда
QADAM ЦИФРЛЫҚ ПЛАТФОРМАСЫ ШАҒЫН ЖӘНЕ ОРТА БИЗНЕСТІ ТРАНСФОРМАЦИЯЛАУ ҚҰРАЛЫ РЕТІНДЕ 201
Л.О. Жумабаева, Mohamed Othman, М.А. Орынбасар, Б.А. Жұмажан, М.Е. Ақбердиева
МОДЕЛИРОВАНИЕ СЦЕНАРИЕВ НАРУШЕНИЙ ЦЕЛОСТНОСТИ ДАННЫХ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ КОММУНИКАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ 214

2 Химическая технология **223**
К.М. Сулейменов, Г.Қ. Мамытбекова, Ж. Нұрымов, К.Г. Сатенов, Е.М. Сүлеймен
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭКСТРАКЦИИ НА ОСНОВЕ КИНЕТИКИ ЭКСТРАКЦИОННОГО ПРОЦЕССА 223
R. Vardanyan, E. Kozhevnikova, N. Akatyev
MOLECULAR-LEVEL ASSESSMENT OF THE CORROSION INHIBITION PROPERTIES OF ONO-TYPE SCHIFF BASES USING DFT CALCULATIONS AND MOLECULAR DYNAMICS SIMULATIONS 231
А.Н. Искандеров, Н. Мерхатұлы, С.К. Жокижанова, А.Н. Искандеров, Х.Б. Омаров, А.О. Булумбаева
КӨРІНЕТІН СПЕКТРДЕ БЕЛСЕНДІ СІҢІРУ ЖӘНЕ ШЫҒАРУЫ БАР ДОНОРЛЫ АЛМАСТЫРҒАН АЗУЛЕН ҚОСЫЛАСТАРЫ 245
М.Ш. Сулейменова, С.Т. Дәуметова, E. Varol, Г.О. Бугубаева, М.С. Жетенова
ВЛИЯНИЕ АМОРФНОГО КРЕМНИЯ НА ФИЗИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЫ 255
M.K. Kazankapova, B.T. Yermagambet, U.M. Kozhamuratova, Zh.E. Jakupova
STUDY OF PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF ADSORBENTS OBTAINED BASED ON TEXTILE CORD 266
N.V. Seraya, V.V. Litvinov, G.K. Daumova, M.A. Yelubay, M.I. Kaissina, E. Skwarek
SUBSTANTIATION OF THE OPTIMAL METHOD FOR DETERMINING THE REACTIVITY OF LIME MILK IN MINE WATER TREATMENT 275
С.К. Буканова, Г.К. Шамбилов, А.И. Абилхайров, А.С. Буканова, Ф.Б. Кайрлиева, Н.У. Нургалиев
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОКИСЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЯНЫХ ОСТАТКОВ КАРАЖАНБАССКОЙ НЕФТИ 290
С.С. Маусумбаев, М.А. Елубай, Д.Т. Толегенов, С.Р. Масакбаева, Г.С. Айткалиева
АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЗОЛЫ-УНОСА В ПОЛУЧЕНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ОТХОДОВ ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН 301

3 Горное и нефтегазовое дело **316**

D.T. Begaliyev, N.M. Zhumagaliyev, A.S. Kupeshova, A.T. Zholbasarova, A.B. Kydrashov, B.Zh. Burkhanov, A.R. Abdiev
THERMAL AND CRYOGENIC FRACTURE INTERACTIONS IN GRANITE: FRACTURE TOUGHNESS TESTS FOR GEOTHERMAL DEVELOPMENT 316

М.Ж. Досжанов, Ю.А. Нифонтов, Ғ.Ж. Тасболат, Е.Т. Қодар, Н.С.Сүлейменов, Л. Бисенбай-қызы, А.М. Төлегенова
ШТАНГАЛЫ СОРАПТАРМЕН ЖАБДЫҚТАЛҒАН ҰҢҒЫМАЛАРДЫҢ СОҢҒЫ ИГЕРУ САТЫСЫНДАҒЫ ЖҰМЫСЫН ДИАГНОСТИКАЛАУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ ӘДІСТЕМЕСІ 325

L.M. Aktayeva, A.M. Koshayeva, A.B. Bekmagambetov, A.M. Rakhmetova, E.A. Kulmagambetova, G.K. Daumova
SAFETY ENGINEERING FOR WIND TURBINE HEIGHT OPERATIONS: A CRITICAL REVIEW OF ISO/OSHA/EN STANDARDS 339

А.У. Кожантов, Е.Х. Абен, С.С. Мырзахметов, Д.К. Ахметканов
АЛТЫНАЛМАС АҚ-ТЫҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН БАҒАЛАУ НЕГІЗІНДЕ АЛТЫН КЕНДЕРІН РЕГРЕССИВТІК ЖӘНЕ КОРРЕЛЯЦИЯЛЫҚ БАЙЫТУ КӨРСЕТКІШТЕРІН БОЛЖАУ 358

А.У. Кожантов, Е.Х. Абен, С.С. Мырзахметов, Д.К. Ахметканов
МИНЕРАЛДЫҚ ШИКІЗАТТЫҢ ЭКОНОМИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, ТАУ-КЕН ЖҰМЫСТАРЫНЫҢ НЕГІЗГІ КЕЗЕҢДЕРІНІҢ СТРАТЕГИЯСЫН ТАҢДАУ 375

Т.С. Ибырханов, А.И. Ибырханова
ПАЙДАЛЫ ҚАЗБАЛАР КЕН ОРЫНДАРЫНДАҒЫ КҮРДЕЛІ ҚҰРЫЛЫМДЫ КЕН БЛОКТАРЫН ИГЕРУ ҮДЕРІСІНДЕ ШИКІЗАТ САПАСЫН БАСҚАРУ 388

Б.М. Нұранбаева, А.М. Жұматай
МҰНАЙГАЗ КЕН ОРЫНДАРЫН ИГЕРУДІҢ ТИІМДІ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРІН ЗЕРТТЕУГЕ АНАЛИТИКАЛЫҚ ШОЛУ 400

Д.С. Хайриев, А.К. Мукатай, Ж.Т. Даулетжанова
ВЛИЯНИЕ ВНЕДРЕНИЯ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ НА ЭКОСИСТЕМУ КАЗАХСТАНА 412

Л.М. Актаева, Ә.Б. Бекмағамбетов, А.М. Рахметова, Э.А. Құлмағамбетова, А.О. Абжаппарова, Н.Б. Әбдрахманова, Н.Т. Сағындықова
БЕЛАРУСЬ РЕСПУБЛИКАСЫНДАҒЫ ЗИЯНДЫ ЖӘНЕ ҚАУІПТІ ЕҢБЕК ЖАҒДАЙЛАРЫ 425

М.Д. Бисенгалиев, Ж.К. Зайдемова, Ж.Б. Шаяхметова, А.С. Каримова, Г.Е. Имангалиева, Ж.У. Икласова
АНИЗОТРОПИЯ МЕН ҚАБАТТЫҢ ДЕФОРМАЦИЯЛАНУЫ ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ КӨЛДЕНЕҢ ҰҢҒЫМАНЫҢ ДЕБИТІ 437

Производственные и обрабатывающие отрасли

4 Пищевая технология **446**

С.А. Карденов, С.Б. Байтукенова, Ш.Б. Байтукенова, Э.Ч. Базылханова, Ж.С. Ажгереева
АҚ ҚАЙЫҢ ҚАБЫҒЫНАН ТРИТЕРПЕНОИДТАРДЫ БӨЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ 446

Т.Ч. Тултабаева, У.Т. Жуманова, Б.Ч. Тултабаев, А.Е. Шоман, А. Сагандык, А. Мулдашева, Д. Айкен, Н. Батталова, М. Тултабаев
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ЙОГУРТ, ОБОГАЩЕННЫЙ ЭКСТРАКТОМ ПОЛИФЕНОЛОВ ИЗ СКОРЛУПЫ АРАХИСА 456

А.К. Суйчинов, Э.К. Окусханова, Г.А. Капашева, Ж.С. Есимбеков
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕЛКОВО-ЖИРОВОЙ ЭМУЛЬСИИ ИЗ КУРИНЫХ СУБПРОДУКТОВ 467
Э.Т. Кансейтова, Ж.С. Желеуова, А.Ж. Шиналиева, М.Д. Абишев, И.Р. Садырбаева
ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЛУКОПЧЁНОЙ КОЛБАСЫ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО ЗАМЕНИТЕЛЯ МЯСА С ДОБАВЛЕНИЕМ ПЛАЗМЫ КРОВИ 476
Sh.Y. Kenenbay, M. Korzeniowska, A.N. Tortai, A.S Krasnikov
STUDY OF THE INFLUENCE OF PLANT-BASED COMPONENTS ON THE PHYSICOCHEMICAL AND ORGANOLEPTIC PROPERTIES OF MEAT PRODUCT 485
М.Ж. Султанова, Ф.З. Сеитова
ЖАРМА ДАҚЫЛДАРЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН ҚҰРҒАҚ ТАҢҒЫ АСТЫҢ САПАСЫ МЕН ТАҒАМДЫҚ ҚАУІПСІЗДІГІ 496
З.К. Конарбаева, З.Т. Нурсеитова, Г.Ж. Нурынбетова, Б.Ж. Мулдабекова, А.Қ. Әбді
ӨНДІРІЛГЕН МАШ ЕЗБЕСІН КҮРКЕТАУЫҚ ЕТ ӨНІМДЕРІ ТЕХНОЛОГИЯСЫНДА ҚОЛДАНУ 506
A.T. Kostanova, Sh.B. Baytukenova, S.B. Baytukenova
EXPERIMENTAL STUDIES OF THE GASTROINTESTINAL SYSTEM - QARTA OF THE HORSE 517
М.Е. Смагулова, Ш.Ж. Жасқайрат, Н.С. Машанова, М.Е. Бекболатова
ӨСІМДІК ШИКІЗАТЫ НЕГІЗІНДЕ ЭМУЛЬСИЯЛЫҚ ӨНІМДЕРДІ АЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ 530
Ж.И. Сатаева, Н.Д. Кундызбаева, М.Е. Смагулова
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА, ОБОГАЩЕННОГО МИКРОНУТРИЕНТАМИ ЯГОД МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЭКСТРАКЦИИ 539
A.A. Melissova, A.D. Daiyrbekova, M.Zh. Nurbekova, A.R. Okassov, B.T. Bolkenov, K.S. Bekbayev
APPLICATION OF MOLECULAR HYDROGEN IN FOOD PRODUCTION AND PRESERVATION: CURRENT TRENDS AND FUTURE PROSPECTS (REVIEW) 552
А.М. Бекахметов, С.С. Алдабергенова, Ш.Б. Байтукенова, А.Т. Костанова
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУКОПЧЕНОЙ КОЛБАСЫ С УЛУЧШЕННЫМИ КАЧЕСТВЕННЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ БЕЗОПАСНОСТИ 564
М.У. Жонысова, Н. Онгарбаева, Б.О. Кулжанова, М. Байгайыпкызы
ВЛИЯНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ЗАРОДЫШЕЙ НА ПОСЕВНЫЕ КАЧЕСТВА СЕМЯН НУТА И ГОРОХА, ВОЗДЕЛЫВАЕМЫХ В УСЛОВИЯХ КАЗАХСТАНА 576
М.Ж. Султанова, Ф.З. Сеитова, Н. Акжанов
ТАҒАМДЫҚ ЭМУЛЬСИЯ ӨНІМДЕРІН ЖАСАУ КЕЗІНДЕ МАҚСАРЫ МАЙЫН ҚОЛДАНУ БОЛАШАҒЫ 584
Т.К. Кулажанов, М.С. Сериккызы, Л.К. Байболова, К.Е. Тютебаева
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ЦВЕТА И ХРАНИМОСТЬ МЯСНЫХ ИЗДЕЛИЙ 597
О.И. Ким, Б.К. Тарабаев, Д.А. Шаймерденова, А.Ж. Исмагулова
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АНАЛИЗА КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕКЛАССНОЙ ПШЕНИЦЫ КАЗАХСТАНА УРОЖАЯ 2024 ГОДА 607
М.Т. Агедилова, Ж.Т. Ботбаева, А.М. Омаралиева
ИДЕНТИФИКАЦИЯ СОСТАВА ЗЛАКОВЫХ КУЛЬТУР С МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ 617

S. Toleubekova, A. Alipov, D. Sviderskaya, G. Yussupova, Zh. Shadyarova, M. Iztileuov
STUDY OF THE STORAGE STABILITY OF LACTOMCT GREEK YOGURT 634
K. Mukanova, N. Zayets, M. Tultabayev
PERSPECTIVES FOR THE DEVELOPMENT OF ORGANIC WASTE PROCESSING TECHNOLOGIES IN ASTANA CITY CONSIDERING GERMAN EXPERIENCE 642

Экономика, бизнес и услуги

5 Экономика, бизнес и услуги **652**
А.Р. Мукушева, М.А. Серикова
ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ КАДРЛАРДЫ БАСҚАРУДЫҢ МЕМЛЕКЕТТІК АУДИТІ: НЕГІЗГІ ҚИЫНДЫҚТАР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ЖЕҢУ ЖОЛДАРЫ 652
Zh. S.Bulkhairova, Zh. Yerniyazova, B. Aidosova, A.A. Makenova, A.Zh. Mashayeva, G. Ospanova
SUSTAINABLE DEVELOPMENT RURAL AREAS OF KAZAKHSTAN: CURRENT STATE . . . 672
A.S. Omarova, Z.N. Borbasova, S.N. Ulakov, N.G. Fonova
DIGITAL EVOLUTION OF TOURISM: PERSONALIZATION OF SERVICES AS A COMPETITIVE FACTOR 689
С. Рейдолда, Р.А. Ерниязов, А.К. Алпысбаева, Б.А. Жуматаева, У.Б. Юсупов, А.Т. Кабиева
ГУДВИЛЛДІҢ БУХГАЛТЕРЛІК ЕСЕБІ ЖӘНЕ ОНЫ БАҒАЛАУ МОДЕЛЬДЕРІ 703
A. Bektaev, G. Saparova, M. Raikhan, A. Atyzova, S. Bespalyy, B. Serikbayeva
ECONOMIC EFFICIENCY OF IMPLEMENTING INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN AGRICULTURAL ENTERPRISES: INTERNATIONAL EXPERIENCE AND A MODEL FOR KAZAKHSTAN 718
Г.Х. Умарова, И.Е. Кожамкулова, Г.Е. Мауленкулова, Е.З. Онласынов
ЦИФРЛЫҚ ЭКОНОМИКАНЫ ҚАЛЫПТАСТЫРУДАҒЫ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІҢ РӨЛІ: ЖАҢҒЫРТУ МҮМКІНДІКТЕРІ ЖӘНЕ ТРАНСФОРМАЦИЯ ТӘУЕКЕЛДЕРІ 738
D.A. Turganbayev, B.K. Issayeva, M.O. Keznhegul, D.A. Seithozhina
DIGITALIZATION OF SCIENCE AS A TOOL FOR INCREASING THE COMPETITIVENESS OF THE ECONOMY OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN 750
D. Satybaldiyeva, B. Keneshbayev, R. Tazhibayeva, S. Kaltayeva, A. Mutaliyeva
ANALYSIS OF THE EFFECT OF CULTURAL ADAPTATION ON ACADEMIC PERFORMANCE 759
A. Maldynova, N. Aidargaliyeva, D. Mussabalina, Zh.S. Abdrakhmanova, T. Demesinov
ECONOMIC ANALYSIS OF DIGITAL HEALTHCARE DEVELOPMENT IN THE EAST KAZAKHSTAN REGION 774
С.Ж. Ибраимова, С.Б. Касымова, Г.Ж. Каримбаева, Д.Б. Шарипова
ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ БИЗНЕСТІҢ ӘЛЕУМЕТТІК ЖАУАПКЕРШІЛІГІ: ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ ЖӘНЕ ДАМУ БАҒЫТТАРЫ 792
Y.N. Linok, Y.Y. Mubarakov, B. Zirkler, Y.Y. Sumareva, A.S. Bukhryakova
SPECIFICS OF THE TRANSITION TO A CIRCULAR ECONOMY IN KAZAKHSTAN 805

МРНТИ 50.49.31 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1208**

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СТАНЦИИ

А.А. Орманбекова, М.А. Джаманбаев, К.М. Жаскайратов, И.А. Берлисугиров, М.Б. Алиева
Алматинский Технологический Университет, Алматы, Казахстан
Корреспондент-автор: karazhaskairatov@gmail.com

Актуальность выбранной тематики определяется тем, что развитие информационных технологий дает возможность автоматизировать деятельность газораспределительных станций, повышая эффективность их работы. Целью исследования является изучение особенностей функционирования автоматизированной газораспределительной станции в Казахстане. Для достижения поставленной цели реализован комплекс задач, включая изучение структуры автоматизированной газораспределительной станции, анализ системы управления ею, а также рассмотрение проблем и перспектив ее функционирования в условиях Казахстана. Объектом исследования выступает деятельность автоматизированных газораспределительных станций в Казахстане, а предметом — подходы к организации их деятельности. Методология исследования основана на применении анализа данных, сравнительного анализа и системного метода. Результаты показали, что наиболее эффективным подходом к организации деятельности станций является двойная автоматизация, обеспечивающая не только автоматизацию технологических процессов, но и управленческих функций. Установлено, что использование различных подходов имеет разную эффективность, требующую индивидуальной оптимизации. В качестве предложения по совершенствованию организации деятельности станций обоснована необходимость материального стимулирования сотрудников для повышения их компетенций в работе с автоматизированными системами управления.

Ключевые слова: автоматизированная газораспределительная станция, системы учета природного газа, подход двойной автоматизации, автоматические средства, устройства ввода и вывода, аппаратно-технические средства.

AUTOMATED GAS DISTRIBUTION STATIONS

A. Ormanbekova, M. Dzhamanbayev, K. Zhaskairatov, I. Berlissugirov, M. Aliyeva
Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: karazhaskairatov@gmail.com

The significance of this research lies in the transformative impact of modern information technologies on automating gas distribution facilities, leading to substantial improvements in their performance. This work explores the operational dynamics of automated gas distribution systems within Kazakhstan, aiming to uncover their distinctive characteristics. To accomplish this, the investigation focused on evaluating structural components, assessing control mechanisms, and identifying both obstacles and growth opportunities tied to the local context. The analysis centers on the functioning of these automated stations, with emphasis on methodologies for coordinating their workflows. Utilizing data-driven evaluation, cross-comparative techniques, and integrated analysis, the study revealed that combining process and administrative automation through dual systems yields optimal results. Findings highlight significant performance variations among different operational strategies, underscoring the need for customized optimization measures. As part of improvement recommendations, the research advocates for incentivizing workforce development through monetary rewards tied to proficiency in operating automated control systems, fostering enhanced technical expertise.

Keywords: automated gas distribution station, natural gas metering systems, dual automation approach, automatic means, input and output devices, hardware and technical means.

АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ГАЗ ТАРАТУ СТАНЦИЯЛАРЫ

А.А. Орманбекова, М.А. Джаманбаев, К.М. Жаскайратов, И.А. Берлисугиров, М.Б. Алиева

Алматы Технологиялық Университеті, Алматы, Қазақстан,
e-mail: karazhaskairatov@gmail.com

Зерттеу тақырыбының өзектілігі ақпараттық технологиялардың дамуы газ тарату станцияларының қызметін автоматтандыруға мүмкіндік беріп, олардың тиімділігін арттыруымен айқындалады. Зерттеудің мақсаты – Қазақстандағы автоматтандырылған газ тарату станциясының жұмыс істеу ерекшеліктерін зерттеу. Осы мақсатқа жету үшін бірқатар міндеттер жүзеге асырылды, соның ішінде автоматтандырылған газ тарату станциясының құрылымын зерттеу, басқару жүйесін талдау, сондай-ақ Қазақстан жағдайында оның қызмет ету мәселелері мен перспективаларын қарастыру. Зерттеу объектісі ретінде Қазақстандағы автоматтандырылған газ тарату станцияларының қызметі алынса, зерттеу пәні – олардың қызметін ұйымдастыру тәсілдері. Зерттеу әдістемесі деректерді талдау, салыстырмалы талдау және жүйелік әдісті қолдануға негізделген. Нәтижелер көрсеткендей, станциялар қызметін ұйымдастырудың ең тиімді тәсілі – технологиялық процестерді ғана емес, басқарушылық функцияларды да автоматтандыруды қамтамасыз ететін қосарлы автоматтандыру әдісі. Әртүрлі тәсілдерді қолдану әртүрлі тиімділікке ие екендігі анықталды, сондықтан олардың әрқайсысын жеке оңтайландыру қажет. Станциялар қызметін ұйымдастыруды жетілдіру бойынша ұсыныс ретінде қызметкерлердің автоматтандырылған басқару жүйелерімен жұмыс істеу дағдыларын арттыруға бағытталған материалдық ынталандыру қажеттілігі негізделді.

Түйін сөздер: автоматтандырылған газ тарату станциясы, табиғи газды есепке алу жүйесі, қосарлы автоматтандыру тәсілі, автоматты құралдар, енгізу-шығару құрылғылары, аппараттық-техникалық құралдар.

Введение. Автоматизация - одно из направлений научно-технического прогресса, применение саморегулирующихся технических средств, экономико-математических методов и систем управления, освобождающих человека от участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов или информации, существенно снижая степень этого участия или трудоемкость выполняемых операций. Именно поэтому возникает необходимость в дополнительном использовании датчиков (сенсоров), устройств ввода, управления, исполнительных механизмов, устройств вывода с использованием электронной техники и вычислительных методов, порой копирующих нервно-психические функции человека.

Автоматизация технологических процессов является одним из решающих факторов повышения производительности труда и улучшения условий труда. Все действующие и строящиеся промышленные объекты в той или иной степени оснащены средствами автоматизации. Экономия энергоресурсов является одной из важнейших задач современности. Эффективность системы учёта природного газа играет важную роль в процессе транспортировки нефти от скважины до потребителя. Именно поэтому целью автоматизации деятельности газораспределительной станции (ГРС) является повышение эффективности её работы, что и обуславливает актуальность выбранной темы.

Выбранная тема широко освещена в исследованиях отечественных и зарубежных учёных, посвящённых автоматизации газораспределительных станций и повышению их эффективности. В научных работах рассматриваются различные подходы к управлению, анализируются технологические решения и перспективы развития данного направления. Вышеуказанными учёными проанализированы подходы к организации деятельности автоматизированной газораспределительной станции. Несмотря на активное рассмотрение вопросов по выбранной теме, учёным до сих пор не удалось найти наиболее эффективный подход к организации деятельности автоматизированной газораспределительной станции, что обуславливает необходимость продолжения проведения исследований по выбранной теме.

Целью исследования является оценка эффек-

тивности внедрения двухсистемной автоматизации на газораспределительных станциях Казахстана с учетом климатических, технических и кадровых особенностей региона. Для достижения указанной цели необходимо реализовать ряд исследовательских задач:

- изучить описание структуры автоматизированной газораспределительной станции;

- провести анализ системы управления автоматизированной газораспределительной станцией;

- рассмотреть проблемы и перспективы функционирования автоматизированной газораспределительной станции.

Объектом исследования являются автоматизированные газораспределительные станции (АГРС) в Казахстане. Предметом исследования является подход к организации автоматизированной газораспределительной станции (АГРС) в Казахстане.

Материалы и методы. Исследование основано на анализе научных публикаций и технических отчётов по автоматизации газораспределительных станций. Источники отбирались по критериям релевантности теме, актуальности (не старше 2018 года) и наличия данных о структуре, управлении и экономических аспектах работы станций. Материалы включают описания трёхуровневых систем автоматизации, где нижний уровень представлен датчиками давления, температуры и очистки газа, средний - контроллерами и интерфейсами передачи данных, а верхний - программным обеспечением управления технологическими процессами.

Методология исследования основывалась на системном анализе архитектуры станции, сравнительной оценке различных подходов к автоматизации (традиционной, частичной, полной) и синтезе данных для выявления ключевых проблем и перспектив. Сравнение эффективности подходов проводилось на основе показателей рентабельности и объёмов производства, заимствованных из анализируемых источников. Особое внимание уделялось адаптации технологий к условиям Казахстана, включая климатические особенности и кадровые ресурсы.

Этапы работы включали сбор и верификацию данных, декомпозицию структурных элементов станций, оценку технологических решений и формулировку рекомендаций. Научная новизна исследования заключается в обосновании возможности реализации концепции двойной автоматизации, сочетающей автоматизацию технологических процессов и функций управления, с повышением рентабельности до 35%. Результаты указывают на необходимость внедрения мер материального стимулирования обучения персонала и оптимизации затрат на оборудование.

Обзор литературы. Рассмотрим подходы к организации автоматизированной газораспределительной станции (АГРС) в Казахстане. Исследования показывают [1], что системы «Power-to-Gas» используют обширные и возобновляемые источники энергии, в основном солнечную энергию, для питания электролизеров. Электролизер - это устройство, используемое для электролиза воды, которое разлагает воду на кислород и водород под действием электрического тока. Затем водород синтезируется для получения метана или синтетического природного газа, или, другими словами, синтетического природного газа, который затем может быть закачан в инфраструктуру добычи природного газа. Такая схема соединяет электрические и газовые системы, накапливая избыток возобновляемой электроэнергии в виде водорода. Эти системы обеспечивают одновременное производство водорода и природного газа в единой системе, основанной на принципе параллельного производства.

Исследования показывают, что в схеме однопоточного газопровода отключенный участок трубопровода может выступать источником как закачиваемого, так и перекачиваемого природного газа [2]. При этом снижается давление газа на всасывающей линии эжектора и центробежного компрессора, что требует применения нескольких ступеней сжатия на конечной стадии перекачки. Чаще ремонт участка магистрального газопровода производится в одном технологическом коридоре с одним или несколькими газопроводами. В схемах перекачки природного газа

при ремонте в технологическом коридоре с двумя и более газопроводами источником закачиваемого природного газа является смежный газопровод, давление в котором поддерживается на одном уровне.

Исследования показывают, что инновационный подход C-GOSP, основанный на прямом нагреве и охлаждении путём смешивания горячего и холодного потоков, позволяет значительно снизить эксплуатационные и капитальные затраты [3]. Этот процесс обеспечивает одновременное охлаждение природного газа, перекачиваемого компрессорами, без использования доохладителей и нагрева поступающей сырой нефти без использования теплообменников. Этот подход привёл к разработке новой компактной конструкции газомасляной сепарационной установки (C-GOSP), отвечающей требованиям экспортных поставок сырой нефти, с более низкими затратами на технологическое оборудование и эксплуатацию, а также с более высоким выходом нефтепродуктов по сравнению с традиционными методами GOSP.

В исследованиях отмечается, что ключевым элементом, определяющим информационно-аналитические и управляющие функции газораспределительных станций, является логически обоснованная структура выходных данных, заложенная в основу концепции газораспределительных станций нового поколения [4]. В структуре автоматизированной газораспределительной станции выделяется следующая трёхуровневая структура, представленная на рисунке 1.

Верхний уровень (информационно-вычислительный)	Сеть Ethernet
	Сервер базы данных
	АРМ операторов
Средний уровень (контроллерный)	Контроллерная сеть
	Локальный контроллер
	Комуникационный контроллер
Нижний уровень (полевой)	Датчики
	Исполнительные устройства

Рис.1 - Анализ организационной структуры автоматизированной газораспределительной станции

Из рисунка 1 можно сделать вывод, что использование трехуровневой структуры автоматизированной газораспределительной станции обеспечивает эффективность ее работы, поскольку каждый уровень является связующим элементом объектов предыдущего уровня [5]. Она состоит из следующих компонентов, таких как:

- нижний уровень - уровень размещения контрольно-измерительных приборов и

исполнительных механизмов, который включает в себя использование таких приборов как:

- сейсмограф;

- датчики абсолютного и дифференциального давления;

- сигнализатор уровня природного газа;

- датчики качества природного газа;

- датчики температуры;

- кабельное и дополнительное оборудование;

- средний уровень - уровень сбора информации с нижнего уровня, выдачи воздействий на устройства приема / передачи данных на верхний уровень, который включает в себя интерфейсные линии связи;

- верхний уровень - уровень, включающий автоматизированное рабочее место оператора, который включает в себя использование таких при-

боров как:

- персональный компьютер;

- источник бесперебойного питания мощностью не менее 450 Вт;

- принтер, в комплекте с кабелем USB;

- лицензионные и лицензионно-антивирусные аппаратно-технические средства.

Важную роль в структуре автоматизированной газораспределительной станции (АГРС) играет блок очистки природного газа (БОГ). Он предназначен для очистки природного газа от механических примесей, капельной влаги и отделения конденсата с последующим его отводом в ёмкость сбора конденсата. Отделение капельной влаги и механических примесей осуществляется путём закрутки потока природного газа и резкого изменения направления его движения. В верхней части фильтра-сепаратора расположен фильтрующий элемент, состоящий из сменных фильтрующих элементов. Максимальный уровень конденсата в промежуточной ёмкости определяется датчиком верхнего уровня, который подаёт сигнал на открытие/закрытие дистанционно управляемого крана, осуществляющего сброс конденсата в ёмкость сбора в автоматическом режиме, как показано на рисунке 2.



Рис.2 - Анализ организационной структуры узла очистки природного газа в автоматизированной газораспределительной станции

Из рисунка 2 следует, что процесс очистки природного газа проходит в 6 этапов, что обеспечивает высокую эффективность его добычи. Система управления АГРС обеспечивает автоматизированное управление и регулирование технологических процессов. Её ключевая функция — координация работы всех узлов станции. Её функционирование обеспечивает контроль и управление всеми её технологическими компонентами, такими как:

- узел переключающих устройств;

- узел редуцирования;

- узел очистки;

- узел подогрева природного газа;

- узел одоризации природного газа;

- узел подготовки импульсного природного газа;

- узел коммерческого учета природного газа;

- узел вспомогательных систем.

Исследования показывают, что традиционная система обнаружения утечек на автоматизированных газораспределительных станциях (АГРС) основана на использовании локальных звуковых извещателей, а информация об обнаруженной утечке передается по беспроводной связи в группу быстрого реагирования. Это обеспечивает немедленное принятие превентивных мер даже при отсутствии людей на объекте.

Исследования подчёркивают, что все системы газораспределительных станций должны быть оснащены датчиками тревоги, срабатывающи-

ми при определённых климатических условиях [6]. Например, когда камеры закрыты для отбора проб природного газа, они потенциально превращаются в миниатюрные теплицы, что означает, что внутренняя температура камер может значительно повыситься. В этом случае система тревоги прервёт отбор проб природного газа и откроет крышки камер, чтобы обеспечить циркуляцию воздуха для снижения температуры, гарантируя сохранность растительности внутри камеры [7]. Также следует использовать датчик дождя, чтобы камеры автоматически открывались во время дождя или дождевания.

Китайские исследователи отмечают [8], что иерархически автоматизированная система управления газораспределительной станцией строится как двухуровневый программно-технический комплекс, что отражено на рисунке 3.



Рис.3 - Анализ организационной структуры автоматизированной системы управления автоматизированной газораспределительной станции

Из рисунка 3 можно сделать вывод, что применение автоматизированной системы управления автоматизированной газораспределительной станцией (АГРС) позволит повысить эффективность работы данной ГРС. На нижнем уровне АГРС задачи автоматического контроля и управления основным и вспомогательным технологическим оборудованием выбранной системы решаются непосредственно шкафом управления, либо с участием оператора этой системы с использованием пульта управления и контроля или автоматизированного рабочего места (АРМ), а на верхнем уровне АГРС обеспечивается дистанционный контроль и управление ее специалистом.

Шкаф управления представляет собой сложное устройство, включающее в себя 19-дюймовые крейты с процессором и модулями ввода-вывода, а также источник бесперебойного питания и вторичные источники питания, такие как зарядное устройство и аккумуляторные батареи [9]. Пульт управления имеет низкое энергопотребление и является эффективным средством получения информации о текущих значениях технологических параметров и управления оборудованием рабочей станции при отсутствии штатного электропитания.

АРМ обеспечивает архивирование, документирование и отображение информации, а также возможность мониторинга и управления оборудованием выбранной системы. Система бесперебойного питания включает в себя стабилизатор, преобразователь со встроенным зарядным устройством, вторичные источники питания и аккумуляторные батареи. Время бесперебойного питания составляет 24 72 часа при нагрузке 150 Вт [10]. Узел редуцирования является наиболее сложным и ответственным узлом данной системы с точки зрения автоматизации. Централизованная форма обслуживания автома-

тизированной газораспределительной станцией (АГРС) требует её полной автоматизации [11].

Обсуждение и результаты. Применение различных подходов к организации деятельности автоматизированной газораспределительной станции имеет разную эффективность, показатели которой необходимо увеличивать в каждом отдельном случае на разную величину, что отражено на рисунке 4 и рисунке 5. Для оценки эффективности различных подходов к организации деятельности автоматизированной газораспределительной станции были использованы показатели добычи природного газа в миллионах долларов США и в %.

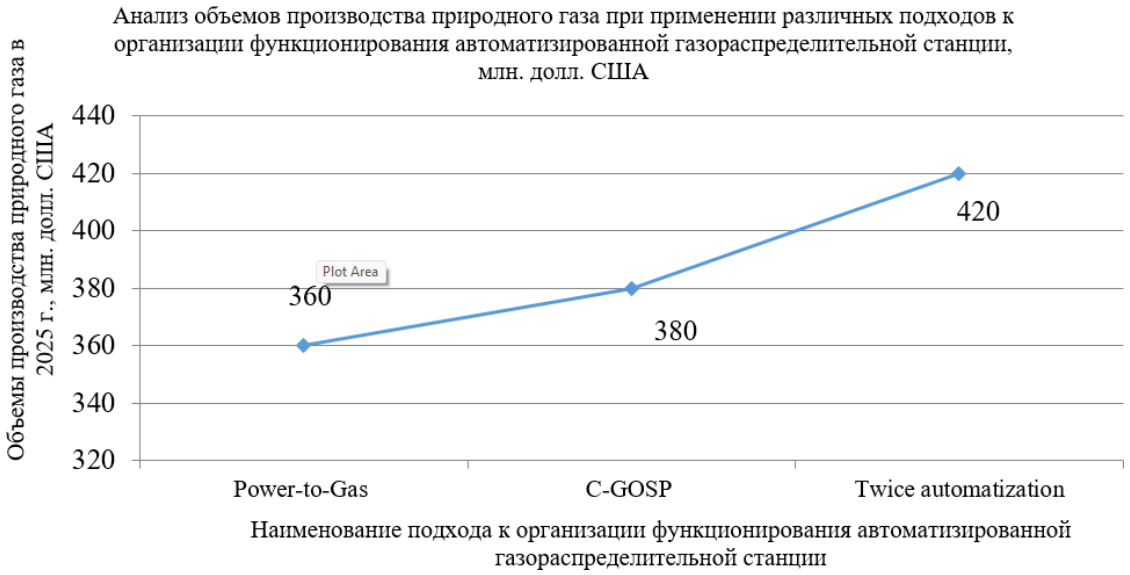


Рис.4 - Анализ объемов производства природного газа при применении различных подходов к организации функционирования автоматизированной газораспределительной станции, млн. долл. США

Из рисунка 4 можно сделать вывод, что наиболее распространенным подходом к организации деятельности автоматизированной газораспределительной станции в Казахстане [12] является подход двойной автоматизации, который обеспечивает не только автоматизацию деятельности автоматизированной газораспределительной станции, но и автоматизацию управления деятельностью выбранной газораспределительной станции.



Рис.5 - Анализ рентабельности производства природного газа при применении различных подходов к организации функционирования автоматизированной газораспределительной станции, %

Из рисунка 5 можно сделать вывод, что реализация подхода двойной автоматизации является наиболее эффективной, поскольку его внедрение может принести 35% прибыли, что является самым высоким показателем по сравнению с другими подходами [13]. Среди проблем организации работы автоматизированной газораспределительной станции (АГРС) можно выделить ограничение свободы разработчиков [14], а также сокращение численности персонала, задействованного в управлении на различных уровнях. Кроме того, руководителям необходимо будет осваивать современные технологии с использованием компьютеризированных систем без посредников [15]. Именно поэтому перспективы организации работы АГРС заключаются в использовании материального аспекта для убеждения сотрудников дать принципиальное согласие на обучение новым информационным технологиям и проведении периодических обучающих курсов для сотрудников с целью ознакомления желающих с возможностями новых устройств АГРС, внедряемых в результате развития научно-технического прогресса.

Выводы. Развитие научно-технического прогресса приводит к появлению технологических инноваций, которые могут быть применены для повышения эффективности современной газораспределительной станции. В структуре построения автоматизированной газораспределительной станции выделяются три уровня, которые позволяют объединить датчики, различные типы контроллеров и серверов с операторами. На основании проведенных исследований определено, что наиболее специфичным подходом к организации деятельности автоматизированной газораспределительной станции в Казахстане является подход двойной автоматизации, который обеспечивает не только автоматизацию деятельности газораспределительной станции, но и автоматизацию управления деятельностью выбранной автоматизированной газораспределительной станции. Его использование позволяет обеспечить наиболее высокие показатели добычи природного газа на сумму 420 млн долларов США, обеспечивая рентабельность добычи природного газа 35%. Проблемами внедрения второго подхода автоматизации являются высокая стоимость оборудования и недостаточная квалификация сотрудников для управления автоматизированной газораспределительной станцией. Важнейшим способом организации функционирования автоматизированной газораспределительной станции было применение материальной заинтересованности сотрудников для формирования интереса к приобретению навыков внедрения автоматизированного подхода к управлению автоматизированной газораспределительной станцией. Для обеспечения эффективности работы автоматизированной газораспределительной станции необходимо использовать совокупность подходов к организации ее работы, что обуславливает необходимость продолжения проведения исследований по выбранной теме.

Литература

1. Gondal I.A. Hydrogen Integration in Power-to-Gas Networks // International Journal of Hydrogen Energy. -2019. -Vol.43 (11). -P. 1803-1815. DOI 10.1016/j.ijhydene.2018.11.164.

2. Buranshin A.R., Godovskiy D.A., Tokarev A.P. Regulation of Ejector Systems under Unsteady Gas Pipage // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. -2020. -Vol.459: 012034. DOI 10.1088/1755-1315/459/2/022076.

3. Soliman M.A., et al. Innovative Integrated and Compact Gas Oil Separation Plant for Upstream Surface Facilities// ResearchGate. -2020. DOI 10.4043/30542-MS.

4. Topchiev A.G., Design and monitoring of oil and gas industry facilities based on the use of ultralight aviation and digital technologies // II International Scientific Conference ”Advanced Technologies in Aerospace, Mechanical and Automation Engineering” (MIST: -2020. -Vol.734: 012005.DOI 10.1088/1757-899X/734/1/012005.

5. Maslennikov S.G., Potapov S.I. Gas-Distribution Stations and Means of Their Automation // Chemical and Petroleum Engineering. -2004.-Vol.40.-P.138-142. DOI 10.1023/B:CAPE.0000033663.71198.0c.

6. Grace P. R., van der Weerden T. J., Rowlings, D. W., Scheer, C., Brunk, C., Kiese, R., Butterbach-Bahl, K., Rees, R. M., Robertson, G. P., Skiba, U. M. Global Research Alliance N_2O chamber methodology guidelines: Considerations for automated flux measurement//Journal of Environmental Quality. -2020. -Vol.49(5). -P.1126-1140. DOI 10.1002/jeq2.20124.

7. Yao S., Zhang Y., Deng N., Yu X., & Liu J. Performance research on a power generation system using twin-screw expanders for energy recovery at natural gas pressure reduction stations under off-design conditions//Applied Energy. -2019.-Vol.236.-P.1218-1230. DOI 10.1016/j.apenergy.2018.12.039.

8. Khisty V. H. SCADA Systems in Oil and Gas: Driving Innovation and Efficiency in the Digital Age//International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. -2024. -Vol. 12*(8)*. - P.96 - 107. DOI 10.22214/ijraset.2024.63848.

9. Dmitrievskiy, A. N., Eremin N. A., Stolyarov V. E. Digital transformation of gas production//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. -2019.- Vol.700(1): 012052. DOI 10.1088/1757-899X/700/1/012052.

10. Petrenko Y., Velinov E., Vechkinzova E., Denisov, I., Gródek-Szostak Z. Energy Efficiency of Kazakhstan Enterprises: Unexpected Findings//Energies. -2020.- Vol.13(12):3100. DOI 10.3390/en13051055.

11. Zurkanain M,A., Subramaniam S.K.Investigation and Implementation of IoT Based Oil and Gas Pipeline Monitoring System// International Journal of Recent Technology and Applied Science. -2023. -Vol.5 (1). - P.25-30. DOI 10.36079/lamintang.ijortas-0501.477.

12. ГОСТ Р 55218-2012 (ЕН 203-2-9:2005) «Оборудование газовое нагревательное для предприятий общественного питания. Часть 2-9. Специальные требования. Рассекатели пламени, мармиты и с-ковороды». URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=37148999. -Дата обращения 19.03.2025.

13. Ranjbar D., Mukan S.M., Niyazgulova A.A. Central Asia - Center Gas Pipeline System: Challenges and Opportunities for Modern Russia - Central Asia Energy Relations//Vestnik RUDN. International Relations.-2024.-Vol.24(2).-P.216-226.DOI10.22363/2313-0660-2024-24-2-216-226.

References

1. Gondal I.A. Hydrogen Integration in Power-to-Gas Networks // International Journal of Hydrogen Energy. -2019. -Vol.43 (11). -P. 1803-1815. DOI 10.1016/j.ijhydene.2018.11.164.

2. Buranshin A.R., Godovskiy D.A., Tokarev A.P. Regulation of Ejector Systems under Unsteady Gas Pipage // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. -2020. -Vol.459: 012034. DOI 10.1088/1755-1315/459/2/022076.

3. Soliman M.A., et al. Innovative Integrated and Compact Gas Oil Separation Plant for Upstream Surface Facilities// ResearchGate. -2020. DOI 10.4043/30542-MS.

4. Topchiev A.G., Design and monitoring of oil and gas industry facilities based on the use of ultra-light aviation and digital technologies // II International Scientific Conference ”Advanced Technologies in Aerospace, Mechanical and Automation Engineering” (MIST: -2020. -Vol.734: 012005.DOI 10.1088/1757-899X/734/1/012005.

5. Maslennikov S.G., Potapov S.I. Gas-Distribution Stations and Means of Their Automation // Chemical and Petroleum Engineering. -2004.-Vol.40.-P.138-142. DOI 10.1023/B:CAPE.0000033663.71198.0c.

6. Grace P. R., van der Weerden T. J., Rowlings, D. W., Scheer, C., Brunk, C., Kiese, R., Butterbach-Bahl, K., Rees, R. M., Robertson, G. P., Skiba, U. M. Global Research Alliance N_2O chamber methodology guidelines: Considerations for automated flux measurement//Journal of Environmental Quality. -2020. -Vol.49(5). -P.1126-1140. DOI 10.1002/jeq2.20124.

7. Yao S., Zhang Y., Deng N., Yu X., & Liu J. Performance research on a power generation system using twin-screw expanders for energy recovery at natural gas pressure reduction stations under off-design conditions//Applied Energy. -2019.-Vol.236.-P.1218-1230. DOI 10.1016/j.apenergy.2018.12.039.

8. Khisty V. H. SCADA Systems in Oil and Gas: Driving Innovation and Efficiency in the Digital Age//International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. -2024. -Vol. 12*(8)*. - P.96 - 107. DOI 10.22214/ijraset.2024.63848.

9. Dmitrievskiy, A. N., Eremin N. A., Stolyarov V. E. Digital transformation of gas production//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. -2019.- Vol.700(1): 012052. DOI 10.1088/1757-899X/700/1/012052.

10. Petrenko Y., Velinov E., Vechkinzova E., Denisov, I., Gródek-Szostak Z. Energy Efficiency of Kazakhstan Enterprises: Unexpected Findings//Energies. -2020.- Vol.13(12):3100. DOI 10.3390/en13051055.

11. Zurkanain M,A., Subramaniam S.K.Investigation and Implementation of IoT Based Oil and Gas Pipeline Monitoring System// International Journal of Recent Technology and Applied Science. -2023. -Vol.5 (1). - P.25-30. DOI 10.36079/lamintang.ijortas-0501.477.

12. GOST R 55218-2012 (EH 203-2-9:2005) «Oborudovanie gazovoe nagrevatel’ noe dlja predprijatij obshhestvennogo pitanija. Chast’ 2-9. Special’ nye trebovanija. Rassekateli plameni, marmity i skovorody». URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=37148999. -Data obrashhenija 19.03.2025. [in Russian]

13. Ranjbar D., Mukan S.M., Niyazgulova A.A. Central Asia - Center Gas Pipeline System: Challenges and Opportunities for Modern Russia - Central Asia Energy Relations//Vestnik RUDN. International Relations.-2024.-Vol.24(2).-P.216-226. DOI 10.22363/2313-0660-2024-24-2-216-226.

Сведения об авторе

Орманбекова А.А. - доктор PhD, Алматинскоий технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: ain_25@mail.ru;

Джаманбаев М.А.- кандидат физико-математических наук, доцент, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: dzhamanbayev@mail.ru;

Жаскайратов К.М. - магистрант, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: karazhaskairatov@gmail.com;

Берлисугиров И.А. - магистр технических наук, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: ilexaba@mail.ru;

Алиева М.Б.- кандидат филологических наук, ассистент профессора, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: marta.ali777@mail.ru.

Information about the authors

Ormanbekova A. - PhD, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: ain_25@mail.ru;

Dzhamanbayev M. - Candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: dzhamanbayev@mail.ru;

Zhaskairatov K. - Master’ s Student at Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: karazhaskairatov@gmail.com;

Berlisugirov I.A. - Master of Technical Sciences, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail:

ilexaba@mail.ru;

Aliyeva M. - Candidate of Philological Sciences, Assistant Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: marta.ali777@mail.ru.

ҒТАМР 28.23.17 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1115**

СИПАТТАМАЛЫҚ СПЕКТРОГРАММАЛАР МЕН НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІ НЕГІЗІНДЕ СӨЙЛЕУШІНІ ТАНУ

[1]Н.О. Мекебаев, [2]Д.К. Даркенбаев, [1]Ж.А. Орынтаева, [2]Н.А. Модовов

[1]Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

Корреспондент-автор:nurbapa@gmail.com, dauren.kadyrovich@gmail.com

Сөйлеушінің айтылу сипаттамаларын алу үшін нейрондық желіге негізделген әдіс ұсынылады, ол қысқа мерзімді спектрограммалардың сызықтық суперпозициясынан сөйлеушінің айтылуының тұрақты көрінісін беру үшін сипаттамалық спектрограммаға қол жеткізу үшін арнайы программа статистикасын пайдаланады. Дәстүрлі SOM (AC-SOM) нейрондық желісіне негізделген ресурстармен шектелген құрылғылардағы динамиктерді тану жүйелері үшін желіні баяу оқыту және тану жылдамдығы мәселесін шешу үшін адаптивті кластерлік өзін-өзі ұйымдастыратын мүмкіндіктер картасы SOM (AC-SOM) алгоритмі ұсынылады. Бұл алгоритм кластерлер саны динамиктер санына сәйкес келгенше танылатын динамиктер санына қарай бәсекелестік деңгейіндегі нейрондар санын автоматты түрде реттейді. Ұсынылған AC-SOM моделіне спектрограммалардың сипаттамалық үлгілерінің 100 сөйлеушінің дерекқоры құрастырылды және қолданылды, бұл максималды оқу уақытын небәрі 304 секундқа, ал үлгіні танудың максималды уақытын 28 мс-ден аз уақытқа қамтамасыз етті. Басқа тәсілдермен салыстырғанда, ұсынылған әдіс тым жоғары тану дәлдігін жоғалтпай, айтарлықтай жақсартылған оқыту мен тану жылдамдығын қамтамасыз етеді. Перспективалы нәтижелер ұсынылған әдіс сөйлеушіні танудың басқа әдістеріне қарағанда edge intelligence жүйелері үшін нақты уақыттағы деректерді өңдеу және орындау талаптарын жақсырақ қанағаттандыратынын көрсетеді.

Түйін сөздер: сөйлеуді тану, алгоритм, MFCC, спектограмма, MLP, AC-SOM.

РАСПОЗНАВАНИЕ ГОВОРЯЩЕГО НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ СПЕКТРОГРАММ

[1]Н.О. Мекебаев, [2]Д.К. Даркенбаев, [1]Ж.А. Орынтаева, [2]Н.А. Модовов

[1]Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан,
[2]Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
e-mail: nurbapa@gmail.com, dauren.kadyrovich@gmail.com

Предлагается метод, основанный на нейронной сети, для извлечения характеристик произношения говорящего. Он использует специальные триграммные статистики для получения характерной спектрограммы, способной обеспечить устойчивое представление произношения говорящего на основе линейной суперпозиции краткосрочных спектрограмм. Для решения проблемы медленного обучения и низкой скорости распознавания в системах идентификации динамиков на устройствах с ограниченными ресурсами предлагается алгоритм адаптивной кластерной самоорганизующейся карты признаков (AC-SOM), основанный на традиционной нейронной сети SOM. Данный алгоритм автоматически регулирует количество нейронов на уровне конкуренции в зависимости от количества распознаваемых динамиков до тех пор, пока количество кластеров не станет соответствовать количеству говорящих. Для предложенной модели AC-SOM была собрана и использована база данных спектрограммных образцов от 100 говорящих, что обеспечило максимальное время обучения всего 304 секунды и максимальное время распознавания образца менее 28 миллисекунд. По сравнению с другими подходами, предложенный метод обеспечивает значительно более высокие скорости обучения и распознавания без существенной потери точности распознавания. Полу-

ченные перспективные результаты демонстрируют, что предложенный метод лучше удовлетворяет требованиям к обработке и исполнению данных в реальном времени в системах edge intelligence по сравнению с другими методами распознавания говорящего.

Ключевые слова: распознавание речи, алгоритм, MFCC, спектограмма, MLP, AC-SOM.

SPEAKER RECOGNITION BASED ON NEURAL NETWORKS USING CHARACTERISTIC SPECTROGRAMS

[1]N. Mekebayev✉, [2]D. Darkenbayev, [1]Zh. Oryntaeva, [1]N. Modovov

[1]Kazakh National Women' s Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan,
[2]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: nurbapa@gmail.com, dauren.kadyrovich@gmail.com

A neural network-based method is proposed for extracting speaker articulation characteristics. It employs specialized trigram statistics to obtain a representative spectrogram that provides a stable representation of the speaker's articulation through a linear superposition of short-term spectrograms. To address the issues of slow training and recognition speed in speaker recognition systems on resource-constrained devices, an Adaptive Clustering Self-Organizing Map (AC-SOM) algorithm is introduced, based on the traditional Self-Organizing Map (SOM) neural network. This algorithm automatically adjusts the number of neurons at the competitive layer based on the number of speakers to be recognized, until the number of clusters matches the number of speakers. A dataset comprising characteristic spectrogram patterns from 100 speakers was developed and used for the proposed AC-SOM model, achieving a maximum training time of only 304 seconds and a maximum recognition time of less than 28 milliseconds per sample. Compared to other approaches, the proposed method significantly improves training and recognition speed without sacrificing high recognition accuracy. The promising results indicate that, in contrast to existing speaker recognition techniques, the proposed method better meets the real-time data processing and execution requirements of edge intelligence systems.

Keywords: speech recognition, algorithm, MFCC, spectogram, MLP, AC-SOM.

Кіріспе. Сөйлеу адамның қарым-қатынасының негізгі көзі болып саналады. Ол биометриялық қауіпсіздік жүйелері сияқты адам мен машинаның өзара әрекеттесу әрекеттерінде кеңінен қолданылады. Бұл ақпарат алмасудың табиғи және тиімді құралдарын қамтамасыз ететін адамдар арасындағы қарым-қатынастың негізгі әдісі болып қала береді. Сөйлеу сигналдарын талдау эмоционалдық күйлерді анықтаудың, жеке тұлғаларды сипаттаудың, диалектілерді түсінудің, жасты бағалаудың және жеке басын, жынысын, тілін және денсаулық жағдайын қамтитын күшті құрал ретінде қызмет етеді. Әрбір жеке тұлғаның дауыс жолдарының тербеліс заңдылықтары бойынша қалыптасқан ерекше вокалдық сипаттамалары бар [1]. Сөйлеуді автоматты түрде тану (ASR) технологиясы соңғы жылдары айтарлықтай прогреске қол жеткізді, бұл негізінен тереңдетілген оқыту жетістіктері мен ауқымды деректер жиынының қолжетімділігіне байланысты. Қазіргі уақытта бұл жүйелер дауыстық көмекшілер мен транскрипция құралдарынан бастап нақты уақыттағы аударма және қол жетімділік қызметтеріне дейінгі қолданбаларға кеңінен біріктірілген. Алайда ASR технологияларының артықшылықтары тілдер арасында бірдей бөлінбеген. Сөйлеу сигналдары эмоциялар, сөйлеу жылдамдығы, дауыс жолдарының өлшемдері, жынысы, дауыс қатпарларының діріл жиілігі және екпін және басқа әсерлер сияқты факторларға байланысты жеке адамдар арасында өзгергіштікті көрсетеді. Зерттеушілер динамиктерді тиімді ажырату үшін осы ерекше белгілерді пайдаланады. Сөйлеу сигналдарының акустикалық ерекшеліктері толқын пішінінің бастапқы өлшеміне қатысты тиімділікке, ең аз резервтілікке және ықшамдылыққа бағытталған динамиктерді тану жүйелерін әзірлеуде өте маңызды. Сонымен қатар, сөйлеу сигналдары нақты уақыттағы аударма қосымшала-

рында қолданылады, мұнда жетілдірілген алгоритмдер сөйлеу тілін талдайды және оны бірден дерлік басқа тілге түрлендіреді. Сонымен қатар, сөйлеу сигналдары тергеу барысында әңгімелер немесе оқиғалар туралы түсінік беретін маңызды сот-медициналық дәлелдер ретінде қызмет етеді. Олар сондай-ақ жеке тұлғаларды биологиялық және мінез-құлық ерекшеліктеріне қарай автоматты түрде анықтайтын биометриялық танудың ажырамас бөлігі болып табылады [2]. Сөйлеуді тануды қолданатын қосымшалар адамдардың күнделікті өмірінің бір бөлігіне айналады және адамдардың жүйелермен өзара әрекеттесуін жақсартуға көмектеседі. Бағдарламалық жасақтамаға негізделген икемділігінің арқасында дауысты тану технологиясы оны қолдануға болатын қосымшалардың мүмкіндіктері бойынша әмбебап болып табылады. Дауыс сапасы арқылы пайдаланушыларды анықтау және аутентификациялау контактісіз, жылдам және аудио сенсоры бар әртүрлі жағдайларда оңай жүзеге асырылады. Бірнеше мысалдар сөйлеуді тану жүйелерінің беріктігін оңай көрсете алады. Адамның сөйлеуі бірнеше мүшелердің, яғни өкпенің, дауыс жолының, дауыс байланыстарының және еріннің бірлескен әрекеті арқылы жасалады. Осы күрделі құрылымның арқасында біз сөйлеу сигналдары арқылы берілетін ақпаратты статистикалық талдау арқылы адамның айтылу сипаттамаларын білдіретін белгілерді ала аламыз [3]. Осы күрделі құрылымның арқасында біз сөйлеу сигналдары арқылы берілетін ақпаратты статистикалық талдау арқылы адамның айтылу сипаттамаларын білдіретін белгілерді ала аламыз. Бұл белгілерді жалпы бес жалпы түрге бөлуге болады: қысқа мерзімді спектрлік белгілер, дауыс көзінің белгілері, спектрлік уақыт белгілері, просодикалық белгілер және жоғары деңгей белгілері. Көптеген сөйлеушілерді тану жүйелері осы белгілердің бірнешеуін қатар қолданады, соның ішінде сөйлеудің әртүрлі аспектілері және оларды дәлірек тануға қол жеткізу үшін оларды қосымша тәсілдермен қолдану [4].

Сөйлеу адамның қарым-қатынасының негізгі көзі болып саналады. Ол биометриялық қауіпсіздік жүйелері сияқты адам мен машинаның өзара әрекеттесуінде кеңінен қолданылады. Соңғы жылдары сөйлеуді автоматты түрде тану (ASR – Automatic Speech Recognition) технологиясы айтарлықтай прогреске қол жеткізді, бұл негізінен терең оқыту жетістіктері мен ауқымды деректер жиынының қолжетімділігіне байланысты. Алайда қазақ тіліндегі ASR жүйелері жеткілікті дамымаған. Сондықтан сөйлеуді танудың тиімді әдістерін жетілдіру және қазақ тілінде бейімделген деректер қорын құру өзекті мәселелердің бірі болып табылады.

Зерттеу мақсаты – сөйлеушінің дауыс сигналынан ерекшелік белгілерді тиімді алу арқылы қазақ тіліндегі сөйлеушіні танудың жылдамдығы мен дәлдігін арттыратын әдіс ұсыну.

Проблемалық ережелер – қазақ тіліндегі сөйлеушіні тану саласында ірі көлемді деректер қорының болмауы, дәстүрлі MFCC және LPCC әдістерінің кей жағдайда жоғары дәлдік бермеуі, ресурстары шектеулі құрылғыларда сөйлеушіні танудың тиімділігінің төмендігі.

Өзектілігі: Қазіргі ақпараттық қоғамда дауыстық интерфейстердің рөлі артып келеді. Қазақ тілінде сөйлеушіні автоматты түрде тану жүйелерін жетілдіру – ұлттық тілдегі интеллектуалды технологияларды дамыту үшін маңызды.

Жаңалығы: Мақалада ұсынылған адаптивті кластерлік өзін-өзі ұйымдастыратын карта (AC-SOM) алгоритмі дәстүрлі MFCC және LPCC әдістерімен салыстырғанда қазақ тіліндегі сөйлеушілерді тануда жылдамдық пен дәлдікті арттырады.

Ғылыми маңыздылығы: Қазақ тіліндегі сөйлеуді өңдеу және тану бойынша жаңа деректер базасының құрылуы әрі тиімді ерекшелік алу әдістерінің енгізілуі тілге бейімделген интеллектуалды жүйелерді дамытуға үлес қосады.

ASR (Automatic Speech Recognition) – сөйлеуді автоматты түрде тану. Бұл ағылшын тіліндегі халықаралық термин, себебі ғылыми қауымдастықта стандартты аббревиатура ретінде қолданылады.

MFCC (Mel-Frequency Cepstral Coefficients) – Mel жиілігі бойынша кепстральды коэффици-

енттер. Бұл да ағылшын тіліндегі халықаралық қысқартпа, себебі зерттеулердің басым бөлігі ағылшын тілінде жарияланады.

Ғылыми зерттеудің өзекті мәселелері

- Қазақ тілінде сөйлеушіні тану үшін арнайы үлкен деректер қорының болмауы.

- Нақты уақыт режимінде жұмыс істейтін тиімді алгоритмдердің жеткіліксіздігі.

- Ресурстары шектеулі құрылғыларда (смартфон, IoT) сөйлеуді тану жүйелерінің өнімділігінің төмендігі.

- MFCC және LPCC сияқты дәстүрлі әдістердің кей жағдайда жоғары дәлдік бермеуі.

Материалдар мен әдістер. Спектрограммалар-бұл уақыт өте келе өзгеретін сигналдағы жиілік спектрінің визуалды көрінісі. Қарапайым тілмен айтқанда, олар әр жиіліктің белгілі бір сәтте деңгейін көрсету үшін түс немесе қарқындылықты қолдана отырып, әр түрлі жиіліктердің (мысалы, дыбыстардың) уақыт өте келе қалай өзгеретінін көрсетеді. Сөйлеуді тануда спектрограммалар әсіресе пайдалы, өйткені олар әртүрлі фонемаларды, интонацияларды және екпіннің өзгеруін ажыратуға көмектесетін сөйлеу дыбыстарының маңызды ерекшеліктерін түсіреді. Спектрограммалар-бастапқыда екінші дүниежүзілік соғыс кезінде сүңгуір қайықтарды анықтау және жау кодтарын ашу үшін әзірленген, бірақ кейінірек тіл білімі саласында сөйлеу спектрінің карталары қолданылған [5].

Ауызша сөйлеу сияқты дыбыстық сигналдар спектрограммаларға айналғанда, әзірлеушілер деректердегі заңдылықтарды тиімдірек талдай алады. Мысалы, спектрограммада сөйлеу түрлі-түсті жолақтар түрінде көрсетіледі, мұнда әртүрлі түстер әртүрлі жиіліктердегі әртүрлі энергия деңгейлерін білдіреді [6]. Бұл белгілі бір жиілік диапазондарын алатын дауысты және дауыссыз дыбыстарды анықтауды жеңілдетеді. Осы спектрограммалардан тиісті белгілерді алу арқылы машиналық оқыту модельдерін берілген аудио кіріске негізделген сөздерді немесе сөз тіркестерін болжауға үйретуге болады.

Практикалық қосымшаларда бұл автоматтандырылған транскрипция қызметтері немесе виртуалды көмекшілер сияқты жүйелер сөйлеу командаларын өңдеу үшін спектрограммаларды қолданады дегенді білдіреді. Пайдаланушы сөйлеген кезде оның дауысы спектрограммаға айналады және жүйе сөздерді тану үшін оны талдайды. Әзірлеушілер сөйлеуді тану үлгілерінің дәлдігін жақсарту үшін спектрограммалардан алынған мель-жиілік кепстральды коэффициенттері (MFCC) сияқты әдістерді қолдана алады. Бұл тәсіл жылдамдық немесе екпін сияқты сөйлеу вариацияларын жақсырақ өңдеуге мүмкіндік береді, осылайша адам сөйлеуін сенімдірек түсінетін сенімдірек қолданбаларды жасауға көмектеседі.

Сөйлеуді автоматты түрде тануда және адамның дауысын тануда, Mel жиілігінің кепстральды коэффициенттерін (MFCC) сөйлеу сигналдарын сипаттау үшін жиі қолданылады, өйткені оларда адамның есту жүйесі қабылдайтын акустикалық ақпарат бар.

Міне, Mfcc сөйлеуді түсінуге қалай үлес қосады:

Сигналды Талдау: Сөйлеу-бұл әр түрлі жиілік пен амплитудамен сипатталатын күрделі сигнал. Mfcc бұл сигналдарды уақыт өте келе дыбыс толқындарының өзгеру жылдамдығы мен сипаттамаларын көрсететін қарапайым компоненттерге бөлуге көмектеседі.

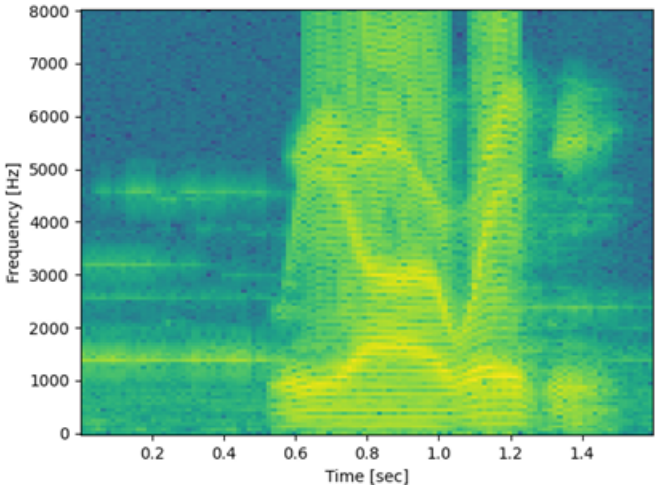
Жиілікті Түрлендіру: Адамдар жиіліктерді сызықтық шкала бойынша қабылдамайды. Сондықтан MFCC адамның есту жүйесінің реакциясына жақын келетін mel шкаласын пайдаланады, ол жоғары жиіліктерге қарағанда төменгі жиіліктердің өзгеруіне сезімтал.

Кепстральды көрініс: mel шкаласына ауысқаннан кейін сигнал қайтадан кепструм деп аталатын уақыт доменінің көрінісіне айналады. Кепструм сигналдың периодты вариациясын (қадамын) баяу вариациядан (тембрден) ажыратады, соңғысына назар аударады, ол сөйлеуді тануға қатысты ақпараттың көп бөлігін алып жүреді.

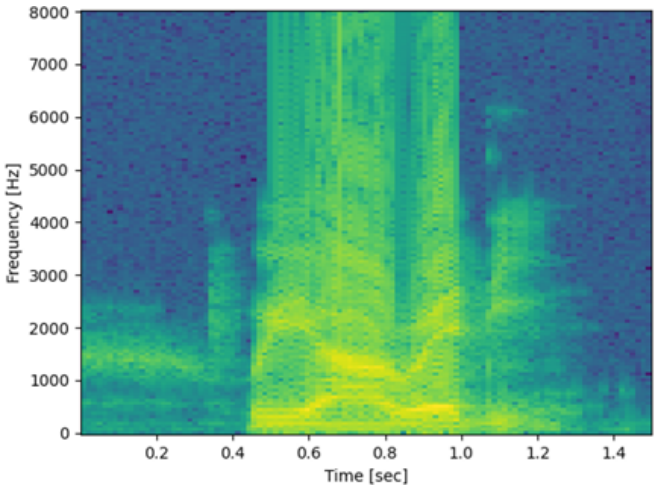
Спектрограммалардың жиілігі шағын өткізу қабілеттілігі және уақыт бойынша үлкен өткізу қабілеттілігі бар.

Сондықтан олар жоғары жиілікті ажыратым-

дылықты қажет етеді және сөйлеудің әртүрлі гармоникасын анық көрсете алады. Мысалы, 1-суретте көрсетілген ”біз дайынбыз” сөйлеу тіркесінің спектрограммасында дауыс жиілігі мен гармоникасын анық көруге болады.1-суретте көлденең бағыттағы төмен жолақтардың жиілік диапазоны қадам жиілігін білдіреді. Осы көлденең жолақтардың ішінде олардың кейбіреулері бір уақытта басқа көлденең жолақтарға қарағанда күңгірт түсті болады. Бұл қараңғы көлденең жолақтар сөйлеуінің резонанстық шыңын білдіреді. Атап айтқанда, жергілікті жерлерде бірнеше қараңғы көлденең жолақтар пайда болуы мүмкін, олар бірнеше резонанстық көлемді құрайды.2-суретте бір адам қалыпты атмосферада жазған ”біз дайынбыз” тіркесінің қалыпты сөйлеуінің спектрограммасы көрсетілген.



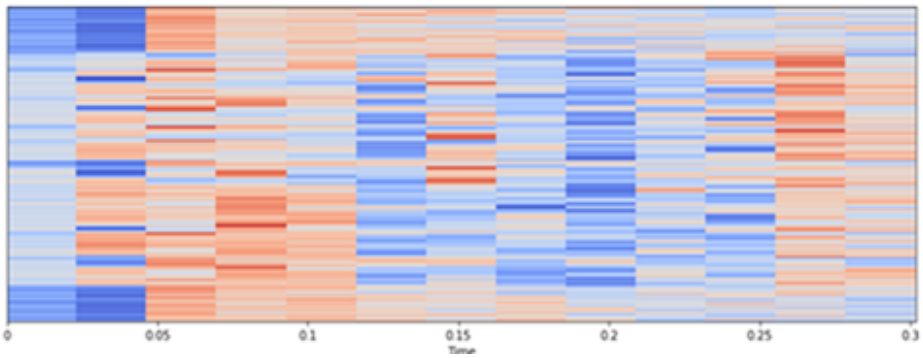
1-сурет. ”Біз дайынбыз” сөйлеуінің спектрограммасы



2-сурет. ”Біз дайынбыз”қалыпты сөйлеу спектрограммасы

Нәтижелер мен талқылау. (Mel Filter Bank) Mel сүзгі банкі кіріс қуатының спектрін Mel сүзгі банкі арқылы сүзеді. Шығыс деректері-әдетте Mel spectrum деп аталатын сүзілген мәндер жиыны, олардың әрқайсысы жеке сүзгі арқылы кіріс спектрін сүзу нәтижесіне сәйкес келеді. Бұған төмендегі формула арқылы қол жеткізуге болады:

$$Y_n[n] = \sum_{i=0}^{N/2} Y_3[i] \times MelWeright[n][i], \quad 0 < n < k$$



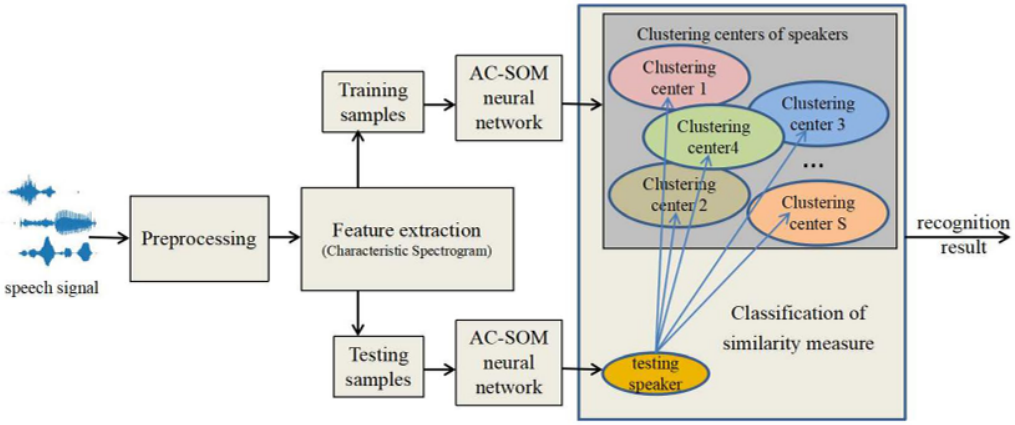
3-сурет. Кепстральды төмен жиілікті коэффициенттер

мұндағы k-сүзгілер саны. Жалпы модель үшін Mel мен сызықтық шкаладағы жиіліктер арасындағы қатынас келесідей: mel(f) = 2595*log10 (1+ f/700).3

Mel сүзгі банкі шығаратын мәндер диапазоны әр мәнді оның табиғи логарифміне ауыстыру арқылы төмендейді:

$$Y_n[n] = ln(Y_4[n]) \;\; 0 < n < k$$

Алдымен спектрді шағын масштабты форматта көрсету үшін сүзгілердің тіркесімін есептеу керек. Mel сүзгісі-бұл жиілік диапазонындағы энергияны қосатын және mel коэффициенттерін есептейтін үшбұрышты терезе. Коэффициенттердің санын білетіндіктен, біз он сүзгі жиынтығын жасай аламыз (сурет.3).



4-сурет. Эксперименттік динамикті сәйкестендіру жүйесіне шолу

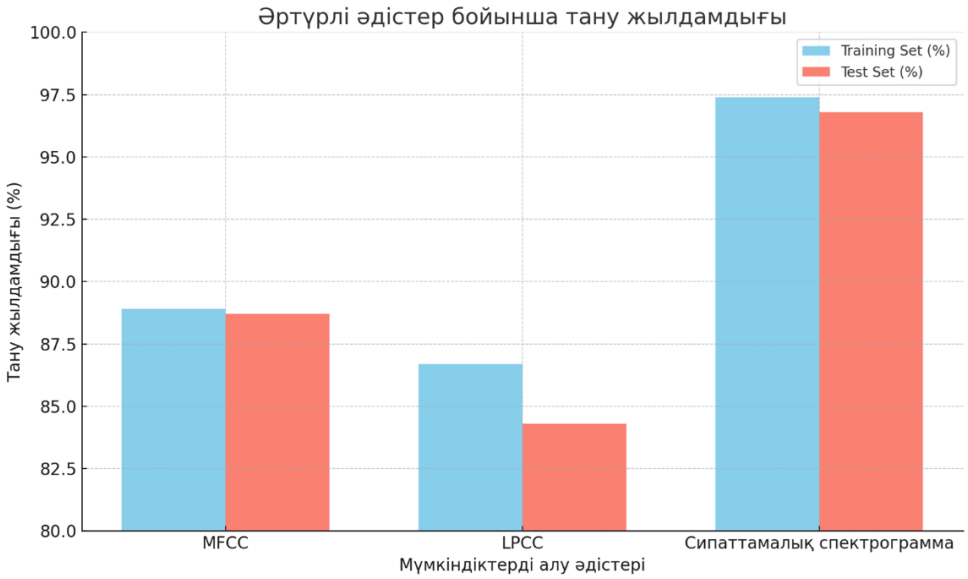
Зерттеу жұмысына қажетті деректер «Ақпараттық және есептеуіш технологиялар» институтының ғылыми базасынан алынып, тәжірибелік жұмыстарда пайдаланылды [7]. Тәжірибелер үшін біз 100 спикердің (50 ер және 50 әйел) жазбаларын қамтитын Қазақ тіліндегі мәліметтер базасын жасадық. Әрбір жазбаның ұзындығы шамамен 7 минутты құрады және зертханада 16 кгц іріктеу жиілігінде ДК аудио жазу бағдарламалық құралын пайдаланып жасалған және WAV пішімінде сақталған. Әр сөйлеуші газет, журналдардан және т.б. басқа мәтіндер алды және қалыпты қарқынмен сөйледі. Осы сөйлеу үлгілерін пайдалана отырып, біз сөйлеушілерге тән спектрограммалардың дерекқорын жасадық. Әрбір сөйлеуші жазбасы ұсталып, 4000 қысқа мерзімді спектрограммаға бөлінді. Содан кейін, 5, 40 қысқа мерзімді спектрограммалардың әр тобынан бір суперпозициялық спектрограммалар жасалды, нәтижесінде бір сөйлеушіге 100 осындай спектрограмм берілді. Кескінді өңдеу кезінде сызықтық суперимпо қимасы бірнеше кескіннің сәйкес пикселдерінде орташа өлшенген операцияны орындауды білдіреді. Бұл тәжірибелерде топ ретінде ”1” салмағымен орташа өлшенген операцияны орындау үшін 40 қысқа мерзімді спектрограмма пайдаланылады, оны біз бір суперпозиция деп атаймыз. Осыдан кейін дәл осындай орташа өлшенген операция 10-шы бір суперпозициялық спектрограммалар тобында қайтадан орындалады, оларды біз төрттік-суперпозиция деп атаймыз. Үлгілердің санын азайту және айтылымның тұрақты ерекшеліктерін алу үшін квадраттық сызықтық суперпозицияны қолдана отырып, 10-ын бір суперпозициялық спектрограммадан тұратын топтар біріктіріліп, соңында бір динамикке 10 сипаттамалық спектрограмма алынды. Осылайша, біз 100 динамиктен тұратын дерекқорымыздан 1000 сипаттамалық спектрограмма үлгілерін жасадық. 4-суретте динамикті тану жүйесіне шолу берілген. Бұл экспериментте біз әр сөйлеушінің деректерінің 80% - оқыту үшін, ал қалған 20% - тестілеу үшін пайдаландық, ал сынақ жиын-

тығындағы үлгілердің ешқайсысы оқыту үшін пайдаланылмады. Cubic convolution әдісіне сүйене отырып, шығыс өлшемі 420x560 болатын сипаттамалық спектрограммалар 42x56 өлшемді суреттерді іріктеу үшін іріктеліп алынды, содан кейін үлгі суреттері оқуға a AC-SOM арналған нейрондық желісіне дәйекті түрде енгізілді. Кіріс қабатының өлшемі n = 42×56 = 2352 болды. S сөйлеуші бойынша тренингтен кейін біз s кластерлік орталықтарын алдық. Содан кейін біз әрбір үлгі мен барлық кластерлік орталықтар арасындағы Евклидтік қашықтық тангенсінің ұқсастығын есептей отырып, сынақ үлгілерін жіктедік, әрбір үлгі үшін тану нәтижесін ең жоғары ұқсастығы бар кластерлік орталық ретінде анықтадық.

5-ші суретте көрсетілгендей 1-кестеде бірдей тану әдісі бойынша IPCC динамигінің мүмкіндіктерін шығару әдісі ең төменгі тану жылдамдығына ие. MFCC мүмкіндіктерін шығару әдісін тану жылдамдығы IPCC-ге қарағанда жоғары. Бірақ екі тану көрсеткіші де 90% - дан аз. Ұсынылған спектрограммаға негізделген мүмкіндіктерді шығару әдісі бірдей динамиктер саны үшін жиі қолданылатын MFCC және LPCC әдістеріне қарағанда жақсырақ жұмыс істейді және динамиктердің айтылу мүмкіндіктерін тиімді түрде шығара алады.

1-кесте. Үш айырмашылық үшін динамикті тану өнімділігін салыстыру ерекшеліктерді шығару әдістері

Сөйлеушілер	**Feature Extraction Methods Мүмкіндіктерді алу әдістері**	**Recognition Rate Тану жылдамдығы (Training Set) (%)**	**Recognition Rate Тану жылдамдығы (Test Set) (%)**
20	MFCC	88.9	88.7
20	LPCC	86.7	84.3
20	Сипаттамалық спектрограмма	97.4	96.8
40	MFCC	87.5	85.2
40	LPCC	81.8	79.3
40	Сипаттамалық спектрограмма	93.3	91.1



5-сурет. Әртүрлі әдістер бойынша тану жылдамдығы

Бұл бөлімде ұсынылған әдіс жоғарыда сипатталған мәліметтер базасын қолдана отырып, сөйлеушіні танудың әр түрлі эксперименттерін құра отырып, сәйкестіктерімен бағаланады. Өнімділік динамиктерді танудың басқа әдістерімен салыстырылады, яғни терең сенім желісі (DBN) [8], конволюциялық нейрондық желі (CNN) [9]. Сонымен қатар, біздің көзқарасымыз басқа мүмкіндіктерді алу әдістерімен, атап айтқанда MFCC [10] және LPCC-мен салыстырылады. Оқу жылдамдығын салыстыру үшін барлық әдістер GPU қолданады. Барлық эксперименттерде біз тану жылдамдығын сыналған үлгілердің жалпы санынан негізгі rect сәйкестіктерінің саны ретінде келесідей есептедік:

$$Тану\ жылдамдығы = \frac{Дұрыс\ сәйкестіктер\ саны}{Сөйлеушінің\ жалпы\ саны} \times 100\%$$

Осы формуланың көмегімен сынақ және жаттығу жиынтығының тану көрсеткіштері сәйкесінше барлық сынақ және жаттығу жиынтығының үлгілерін сынау арқылы алынды. Жаттығу уақыты динамикті тану жүйесіне қажетті уақыт (секундпен) ретінде анықталады команда оқу процесін аяқтауы керек, ал тестілеудің жалпы уақыты-бұл барлық сынақ жиынтықтарының үлгілерін жіктеуге кететін уақыт, ал бір сынақ уақыты-бір сынақ үлгісін жіктеуге кететін орташа уақыт.

Сөйлеушінің санының оқытудың орташа деңгейіне және тестілік жиынтықты тану көрсеткіштеріне әсерін зерттеу үшін біз жүйені келесі әдістермен тексердік 20, 40, 60, 80, 90 және сол эксперименттік жағдайда 100 сөйлеуші болды. Біз әр экспериментті үш рет өткіздік және орташа нәтижелер 2-кестеде келтірілген.

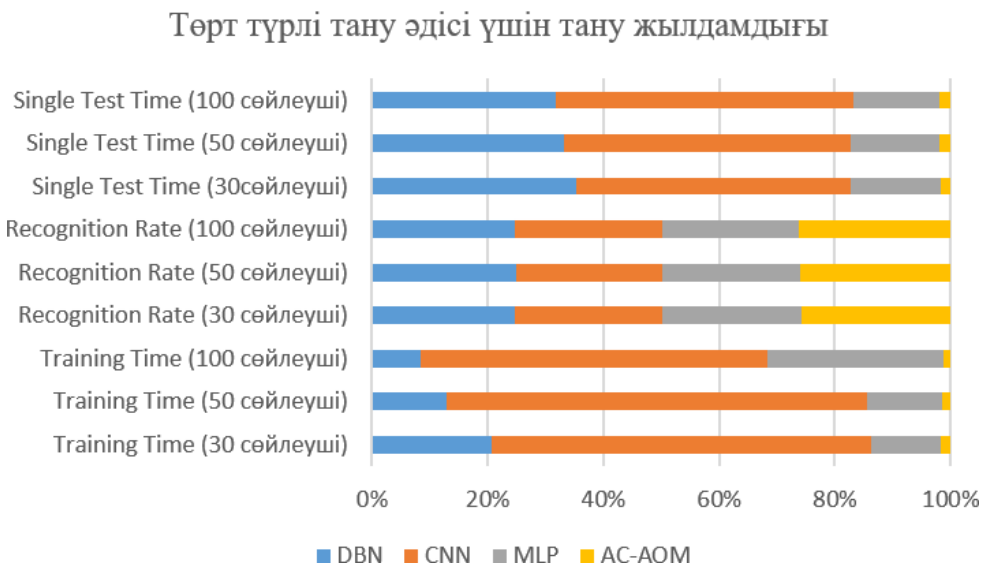
2-кесте. Сөйлеушінің санының тану жылдамдығына, жаттығу жылдамдығына және тану жылдамдығына әсері

Сөйлеуші саны	Тану жылдамдығы (training set (%)	Тану жылдамдығы (test set) (%)	Оқыту уақыты (s)	Total test time (s)	Бірыңғай тест Single test time (ms)
20	99,3	99,9	11,9	0,3	4,2
40	97,4	95,6	18,6	0,6	8,2
60	91,6	90,0	69,9	1,3	13,1
80	90,2	86,8	138,8	2,6	17,1
90	84,7	82,7	200,5	4,5	23,8
100	84,7	81,5	303,6	5,7	26,9

Соңында, біз өз көзқарасымызды 20, 60 және 100 динамиктерді тану жылдамдығы мен жылдамдығы бойынша сөйлеушіні танудың басқа төрт әдісімен салыстырдық. CNN екі конволюциялық тиональды қабаттан, екі біріктіру қабатынан, екі толық қосылған қабаттан және бір softmax қабатынан тұрды, ал MLP құрылымы 2351×1000 ×500×250×100 сөйлеушіні саны. Эксперименттің үш кезеңінде танудың орташа жылдамдығы 6-суретте көрсетілген.

6-шы суреттен көрініп тұрғандай бірдей эксперименттік жағдайларда CNN тану жылдамдығы ең жоғары болып табылады, бірақ ол жаттығу жылдамдығы мен тану жылдамдығын әсер етеді. Осы зерттеуде ұсынылған AC-SOM нейрондық желі әдісін тану жылдамдығы CNN әдісіне қарағанда сәл ғана төмен, бірақ ұсынылған желіні оқыту жылдамдығы мен тану жыл-

дамдығы басқа әдістерге қарағанда айтарлықтай жылдамырақ, бұл анық, басқа әдістерден жоғары және нақты уақыттағы қолданбалардың қажеттіліктерін қанағаттандыра алады.



6-сурет. Төрт түрлі тану әдісі үшін тану жылдамдығы

Қорытынды. Деректерді оқытудың баяу жылдамдығы, тану тиімділігінің төмендігі және ресурстармен шектелген құрылғыларда қолданудың нашар өнімділігі мәселелерін шешу үшін бұл мақалада әрбір динамик үшін тұрақты айтылу мүмкіндіктерін алу үшін қысқа мерзімді спектрограмма статистикасын пайдаланатын әдіс ұсынылады, содан кейін AC-SOM нейрондық желісіне негізделген адаптивті кластерлеу әдісі бар динамиктерін алдық. Қазақ тіліндегі мәліметтер базасы құрылды, онда 100 сөйлеушінің жазбалары бар. Динамиктерге тән спектрограммаларды алу үшін ерекшеліктерді шығарудың тиімді әдісі ұсынылды. Содан кейін ұсынылған AC-SOM моделінің тану тиімділігі мен жылдамдығын тексеру үшін сипаттамалық спектрограммалар қолданылды. Эксперимент нәтижелері көрсеткендей, сөйлеушіге тән спектрограмма оның айтылу бөлшектерін ғана емес, сонымен қатар тұрақты айтылу сипаттамаларын да көрсете алады, осылайша сөйлеушінің айтылу сипаттамаларын тиімді сипаттай алады. Эксперименттік нәтижелер замануи алгоритмдермен салыстырғанда, ұсынылған AC-SOM алгоритмінің тану жылдамдығына айтарлықтай әсер етпестен оқу және тану жылдамдығын айтарлықтай жақсарта алатынын көрсетеді. Осылайша, бұл зерттеу ресурстары шектеулі құрылғыларда динамиктерді танудың озық интеллектуалды жүйелерін енгізудің өте перспективалы нұсқасын ұсынады.

Әдебиеттер

1. Saritha B., Laskar R.H., Choudhury M., Anish Monsley K. Optimizing Speaker Identification through SincsquareNet and SincNet Fusion with Attention Mechanism // Procedia Computer Science. - 2024. - Vol.233. -P.215-225. DOI 10.1016/j.procs.2024.03.211.

2. El Shafai W., et al. Optical ciphering scheme for cancellable speaker identification system // Computer Systems Science and Engineering. -2023. -Vol.45(1). -P.563-578. DOI 10.32604/csse.2023.024375.

3. Daqrouq K., Tutunji T.A. Speaker identifcation using vowels features through a combined method of formants, wavelets, and neural network classifers // Elsevier Science Publishers B. V. - 2023. -Vol.27. -P. 231-239. DOI 10.1016/J.ASOC.2014.11.016.

4. Ajmera P.K., Jadhav D.V., Holambe RS. Text-independent speaker identification using radon and discrete cosine transforms based features from speech spectrogram // Pattern Recognition. -2011. -Vol.44(10-11). -P.2749-2759. DOI 10.1016/j.patcog.2011.04.009.

5. O' Shaughnessy D. Speech Communications: Human and Machine. – 2nd ed. / IEEE Press. -2008. -600 p. ISBN 978-0-780-33449-6.

6. Cheng F., et al. Visual speaker authentication with random prompt texts by a dual-task CNN framework // Pattern Recognition. -2018. -Vol.83. -P.340-352. DOI 10.1016/j.patcog.2018.06.005.

7. Hinton G., Deng L., Yu D., Dahl G.E., et al. Deep neu ral networks for acoustic modeling in speech recognition: the shared views of four research groups // IEEE Signal Process Magazine. - 2012. -Vol.29(6). -P.82-97. DOI 10.1109/MSP.2012.2205597.

8. Mamyrbayev O., Toleu A., Tolegen G., Mekebayev N., Neural architectures for gender detection and speaker identification // Cogent Engineering.- 2020. -Vol.7(1): 1727168. DOI 10.1080/23311916.2020.1727168.

9. Kalimoldayev M.N., Mamyrbayev O.Zh., Kydyrbekova A.S., Mekebayev N.O. Voice verification and identification using i-vector representation // International Journal of Mathematics and Physics.- 2019. -Vol.10(1). -P.66-74. DOI 10.26577/ijmph-2019-i1-9.

10. Mamyrbayev O., Turdalyuly M., Mekebayev N., Alimhan K., Kydyrbekova A., Turdalykyzy T. Automatic recognition of Kazakh speech using deep neural networks //Lecture Notes in Computer Science. -2019. -Vol.11432. -P.465-474. DOI 10.1007/978-3-030-14802-7_40.

Авторлар туралы мәліметтер

Мекебаев Н.О. - PhD, қауымдастырылған профессор, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail:nurbapa@gmail.com;

Даркенбаев Д.К. - PhD, доцент м.а., әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: dauren.kadyrovich@gmail.com;

Орынтаева Ж.А. - магистр, аға оқытушы, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: zannaoryntaeva0@gmail.com;

Модовов Н.А. - докторант, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан e-mail: modovov@gmail.com.

Information about the authors

Mekebayev N.- PhD, Associate Professor, Kazakh National Women' s Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: nurbapa@gmail.com;

Darkenbayev D.- PhD, Acting Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: dauren.kadyrovich@gmail.com;

Oryntaeva Zh.- master, Kazakh National Women' s Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: zannaoryntaeva0@gmail.com;

Modovov N.- master, doctoral student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: modovov@mail.ru.

IRSTI 20.23.17 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1041**

AUTOMATION OF THE PROCESSES BASED ON MACHINE LEARNING FOR TELEMEDICINE INFORMATION SYSTEM

[1,2]A.S. Seitenov, [1]T.K. Zhukabayeva
[1]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[2]Astana IT University, Astana, Kazakhstan

Corresponding author: altynbekss@gmail.com

The integration of Machine Learning into Telemedicine Information Systems has revolutionised remote healthcare delivery, optimising patient monitoring, diagnosis, and treatment processes. However, challenges persist in automating these systems, particularly in areas of data interoperability, security, and scalability. The research explores the role of ML-driven automation in overcoming described challenges, analysing current trends, obstacles, and research gaps. The study notices technologies predictive analytics and image recognition are advancing telemedicine capabilities, while issues like fragmented data, lack of standard protocols, and privacy concerns remain. It emphasises the need for robust frameworks that integrate ML techniques to enhance the reliability and efficiency of TIS, especially in resource-constrained settings. By combining the latest findings, the work demonstrates the importance of adopting complex automation strategies enhanced via ML tools for developing future innovation in the telemedicine field.

Keywords: telemedicine, medical information system, machine learning, healthcare information system, remote patient monitoring.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

[1,2]А.С. Сейтенов, [1]Т.К. Жукабаева
[1]Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
[2]Astana IT University, Астана, Казахстан,
e-mail: altynbekss@gmail.com

Интеграция методов машинного обучения в информационные системы телемедицины произвела революцию в области дистанционного оказания медицинской помощи, оптимизируя процессы мониторинга пациентов, диагностики и лечения. Тем не менее, автоматизация таких систем по-прежнему сталкивается с рядом проблем, особенно в сферах совместимости данных, безопасности и масштабируемости. В исследовании рассматривается роль автоматизации, основанной на машинном обучении, в преодолении указанных вызовов, проводится анализ современных тенденций, препятствий и существующих исследовательских пробелов. Отмечается, что технологии прогнозной аналитики и распознавания изображений значительно продвигают возможности телемедицины, однако сохраняются такие проблемы, как фрагментированность данных, отсутствие единых стандартов и вопросы конфиденциальности. Особое внимание уделяется необходимости создания надежных архитектур, интегрирующих методы машинного обучения для повышения надежности и эффективности информационных систем телемедицины, особенно в условиях ограниченных ресурсов.На основе анализа последних достижений работа подчеркивает важность внедрения комплексных стратегий автоматизации, усиленных инструментами машинного обучения, для стимулирования инноваций в области телемедицины.

Ключевые слова: телемедицина, медицинская информационная система, машинное обучение, система медицинской информации, дистанционный мониторинг пациентов

ТЕЛЕМЕДИЦИНАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУҒА НЕГІЗДЕЛГЕН ҮДЕРІСТЕРДІ АВТОМАТТАНДЫРУ

[1,2]А.С. Сейтенов, [1]Т.К. Жукабаева

[1]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
[2] Astana IT University, Астана, Қазақстан,
e-mail: altynbekss@gmail.com

Машиналық оқыту әдістерінің телемедицина ақпараттық жүйелеріне интеграциялануы қашықтықтан медициналық көмек көрсетуді түбегейлі өзгертті, бұл пациенттерді бақылау, диагноз қою және емдеу үдерістерін оңтайландырды. Дегенмен, мұндай жүйелерді автоматтандыруда деректердің үйлесімділігі, қауіпсіздік және ауқымдылық секілді салаларда әлі де бірқатар қиындықтар бар. Зерттеу машиналық оқытуға негізделген автоматтандырудың осы қиындықтарды шешудегі рөлін қарастырып, қазіргі үрдістерді, тосқауылдарды және зерттеу алшақтықтарын талдайды. Болжамдық талдау мен кескіндерді тану технологиялары телемедицинаның мүмкіндіктерін кеңейтуде, бірақ деректердің шашыраңқылығы, бірыңғай стандарттардың болмауы және дербес деректердің құпиялылығы сияқты мәселелер өзекті болып отыр. Зерттеуде әсіресе ресурс шектеулі жағдайларда телемедицина ақпараттық жүйелерінің сенімділігі мен тиімділігін арттыру үшін машиналық оқыту әдістерін біріктіретін мықты архитектуралардың қажеттілігі атап өтіледі. Соңғы жетістіктерді талдай отырып, бұл жұмыс телемедицина саласындағы болашақ инновацияларды дамыту үшін машиналық оқыту құралдарымен күшейтілген кешенді автоматтандыру стратегияларын енгізудің маңыздылығын көрсетеді.

Түйін сөздер: телемедицина, медициналық ақпараттық жүйе, машиналық оқыту, денсаулық сақтау ақпараттық жүйесі, болжамдық аналитика, қашықтан пациентті бақылау.

Introduction. Over the last decades, telemedicine information systems (TIS) have noticeably transformed the healthcare field via the deployment of remote doctors' consultation, medical diagnosis, and patient management services [1]. Integration of machine learning (ML) technologies presents further opportunities to enforce TIS systems through predictive analytics, natural language processing (NLP), and patient image recognition. These features can enhance the telemedicine usage performance efficiency and adaptability to user needs [2,3]. However, critical barriers remain in automating core processes of TIS, especially in ensuring seamless interoperability, robust data security, and adaptability across different healthcare settings [4,5]. These challenges become a crucial issue due to the heterogeneous nature of healthcare data and the absence of standardised data exchange protocols [6].

The research work shows a review of ML technologies' role in automation TIS system processes. It consists of an empirical investigation based on healthcare professionals' thoughts, analysed via mixed-method approaches. The work adopts a broader perspective, synthesising insights from diverse studies to identify trends and challenges in the telemedicine domain. This study focuses on how machine learning-based automation can be applied to address the primary challenges of the telemedicine platform, with particular attention to developing secure, scalable, and user-centred design strategies. Understanding of these aspects is essential for effectively integrating ML features into TIS systems and for informing future developments in the ehealth field. Moreover, the integration of ML technologies with other innovations, namely blockchain network, offers promising avenues for improving data integrity and patient privacy in telemedicine applications [7-9]. While prior works have examined individual ML and blockchain applications, the research proposes an architecture that is able to combine the noted technologies in a modular framework for low-resource settings.

Additionally, the study proposes an enhanced system architecture by ML tools, blockchain technology, and secure interoperability standards. The results highlight major concerns, namely, data fragmentation, lack of standardisation, and security risks, which the proposed model aims to mitigate. The outcome of the article informs possible future design, implementation, and policy development for telemedicine systems. What differentiates this study from prior literature is the integration of technical and user-centred perspectives through a

mixed-methods study, which supports the design of a new modular system architecture. Rather than solely reviewing trends, this work formulates a forward-looking implementation framework rooted in both literature and stakeholder insights.

Materials and methods. In this section, a set of articles relevant to the research topic was systematically reviewed and analysed. The primary sources for the literature search included academic databases, namely, Google Scholar, Scopus, and ScienceDirect. The inclusion criteria required that the publication has to reference specific keywords such as telemedicine, medical information system, healthcare remote technologies, medical information systems, and related digital health infrastructures. Studies that did not directly engage with these themes were excluded. Applying the inclusion criteria, the research review aims to offer a comprehensive overview of the current state of research, emphasising major advancements, emerging trends, and persistent challenges in the field. This approach ensures a conceptual foundation for understanding the broader implications of TIS in the scope of the modern healthcare service.

Analysis of publications related to the TIS system shows diverse significant outcomes depending on the context of implementation. Firstly, the adoption of TIS platforms has been associated with improvements in clinical decision-making, reducing medical errors and optimising treatment plans [10,11]. As an illustraion, the integration of Electronic Health Records (EHR) illustrated error reduction in the medical process [12,13]. Additionally, the implementation of Clinical Decision Support Systems (CDSS) within TIS frameworks helps medical staff by offering evidence-based treatment recommendations and computer diagnostic accuracy [14].

Contrastingly, other works present that the effectiveness of using TIS systems often faces foundational challenges. There are low levels of infrastructure, limited internet connectivity, unqualified training for healthcare workers, and financial constraints. These factors reflect the scalability and sustainability of telemedicine integration [15]. Moreover, a systematic review emphasised the absence of clear guidelines and investment can increase the possibilities of successful TIS integration [16].

Also, existing studies provide valuable advantages of integration of TIS systems in the medical field, they often overlook non-clinical applications, including public health monitoring and policy development. Additionally, there is research addressing the socio-economic factors influencing TIS adoption in resource-limited settings. It underlines the necessity of deep studies in the telemedicine area [17].

CDSS has demonstrated the potential to enhance patient outcomes by reducing medical errors, particularly those related to drug interactions and diagnostic inaccuracies [18,19]. Institutions have successfully implemented CDSS to bolster patient safety measures [20]. This indicates that while CDSS offers potential benefits, its success is contingent on clinician engagement and the system' s alignment with the workflow.

Various methods and technologies have been deployed in TIS for the improvement of business processes. The innovative approaches in telemedicine systems, mobile health (mHealth), and medical information platforms have successfully improved many healthcare settings [21]. These systems have helped in healthcare operations, reduced operational costs, and increased the efficiency of medical service delivery.

Recent advances and integration of blockchain technology in telemedicine have able to get higher security standards and improved data-sharing capabilities. Other methods, namely, machine learning algorithms could be used for predictive analytics in healthcare, assisting in decision-making and early disease diagnosis [4,5,8].

CDSS can be categorised into knowledge-based and non-knowledge-based systems. Knowledge-based systems rely on rules and guidelines derived from medical literature, while non-knowledge-based systems use machine learning and statistical pattern recognition. Most of today's CDSS are knowledge-based, utilising if-then rules to trigger

alerts for issues such as duplicate test orders or drug interactions. However, advancements in artificial intelligence have led to more sophisticated CDSS, which can learn from past data and provide supportive clinical support [1]. While the integration of these IT solutions gives a chance of successful usage, the whole concerns about transparency and trust have limited their adoption [20-22].

B. *Identifying* Research Gaps

Several issues remain in current TIS research. The one of the significant areas is the under-researching of TIS adaptability in low-resource settings. Although TIS has been established sufficiently in healthcare systems, there is still incomplete research on how telemedicine system can be fully optimized in developing territories [21]. While studies have highlighted the importance of management skills within TIS, there is limited research on the integration of artificial intelligence tools in the telemedicine ecosystem for real-time knowledge processing.

Despite the proven benefits of CDSS, research presents application limitations in some critical areas. One of them is the lack of large-scale, systematic studies examining CDSS effectiveness in real-world settings outside of controlled environments excluding academic medical centres. Additionally, while much attention has been given to CDSS for healthcare management, less research has focused on their use in diagnostic decision-making, particularly in general practice [19,22].

The current research is able to address these gaps by focusing on how TIS can be better tailored for resource-constrained environments and identifying the best practices for integrating cutting-edge technologies with existing systems or by focusing on the real-world implementation of CDSS in diverse healthcare environments, examining factors such as user interaction and integration with existing workflows.

The connection diagram illustrates how a set of research papers addresses the core issues of interoperability and data security within the TIS framework. It shows how studies join/differ from one another in their approaches to solving the challenges [23-25].

- Concentration on challenges related to interoperability and heterogeneous data formats.

- Exploration of the influence on healthcare expenses and patient care.

- Discussion of the benefit of AI and blockchain for providing security aspects.

The figure (Figure 1) presents pointers between the reports to spotlight the advancement of ideas over the term. It shows where the last studies build on older findings.

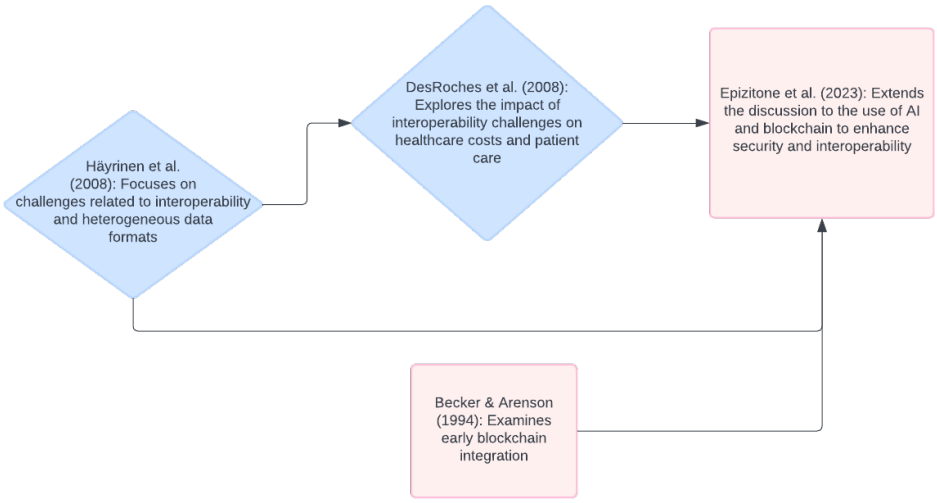


Fig.1 - Graphical representation of source

The above diagram presents how interoperability barriers have evolved from early discussions of data formats and communication protocols [25]. They lead to modern solutions involving AI and blockchain [21]. Each study concerns previous findings, gradually introducing more advanced technological keys to solve essence difficulties in Medical Information Systems

Table 1 is a comparative table with specific columns. The content of the table consists of methods, advantages, and limitations of different studies on TIS. It helps summarise how different authors approached common challenges and what results they reported.

Table 1 - Description for TIS approaches

Study	Year	Method Used	Advantages
Häyrinen et al.[24]	2008	Data format standardisation	Data format standardisation
DesRoches et al.[23]	2008	TIS implementation	Reduced patient wait times
Epizitone et al.[21]	2023	AI and blockchain integration	Enhanced security, automated decision-making
Liu et al. [5]	2020	Blockchain for security	Strong encryption and distributed access control
Ahmad et al. [7]	2021	Blockchain in telehealth	Tamper-proof logging and improved patient privacy

Graph represents a progression of research publications on TIS syste, implementation and AI in Healthcare from 2000 to 2020 (Figure 2). The blue line represents the increasing number of publications focused on TIS implementation. The green line represents the rise in publications related to AI tools in Healthcare.

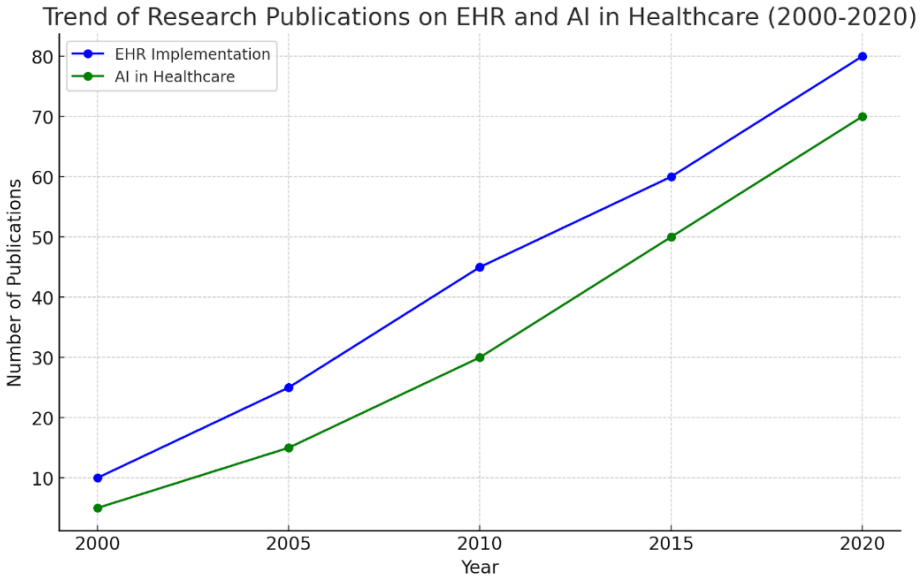


Fig.2 - Progression of research publications on TIS implementation

The review set highlights that EHR-s are not only repositories of structured clinical and administrative information but also function as tools for decision support, communication, and quality improvement. The authors emphasise that while EHR implementation has the potential to enhance healthcare efficiency and patient safety, success depends heavily on standardization, user training, and system integrations.

Figure presents (Figure 3) a bar chart displaying the primary challenges associated with the realisation of TIS technologies. It was identified across multiple studies. The most frequently reported issues are the following:

- interoperability. A notable amount of healthcare institutions emphasise difficulties in blending heterogeneous systems and data formats;

- data security. It emerges as another vital consideration with more than half of the surveyed institutions expressing suspicions about safeguarding patient information;

- high implementation costs. It poses a considerable barrier, particularly in low-resource settings, where budget regulations limit the scalability of digital health solutions.

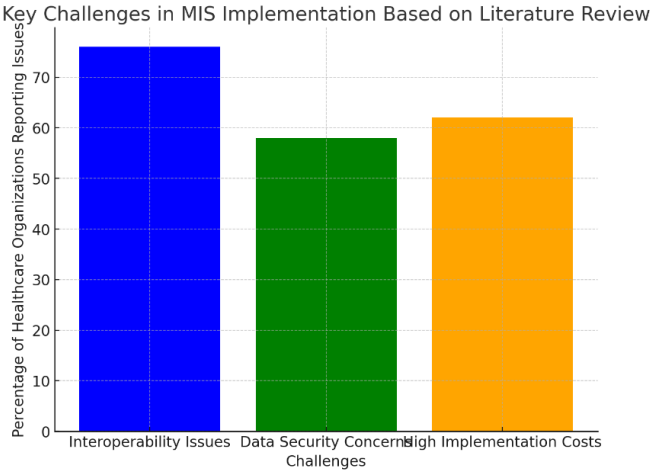


Fig.3 - Key challenges in TIS implementation

The visual representation actually underlines these key challenges, strengthening prevalence and impacting the existing literature.The charts and visual materials in this paper are based on reliable sources and real-world studies related to EHR and TIS technologies. These visuals help explain the main challenges and trends in telemedicine in a clear and accessible way.

- Interoperability: The data demonstrates a different researcher attempts for solving the intercommunication and data exchange among different programes. There are even some progress has been made. A number of healthcare systems still struggle to share data smoothly. The evidence from studies merges and diverges in work approaches to embarking on the complex problem.

- Data Security: Information breakings and the use of blockchain make it clear why protecting patient information is so important. As more additional, healthcare systems go digital, consequently, it is necessary to develop more reliable and secure tools. These visuals highlight how new technologies are helping to keep patient data safe.

- System Adoption: The review presents how TIS and CDSS are used to reveal success relies on the local context. Factors, namely, staff training, technical readiness, and budget all play a role. These insights show why it’ s important to adapt systems to each specific environment.

Results and discussion. The study uses mixed (qualitative and quantitative) research methods.

The methods demonstrate a description of the usage of TIS applications and challenges in TIS implementation. Approaches are made to examine both clear and measurable patterns. Additionally, it is modest and experience-based insights. The work' s main focus area includes a user' s satisfaction with TIS deploying. Particularly, it touches on assessments, namely, data protection, system integrity in daily routines, and efficiency of usage. Participants are chosen randomly from healthcare institutions. The medical centres have already used medical information systems with any telemedicine functionalities. The work is aimed to gather feedback from a variety of medical professionals from different departments, and levels of experience. It helps to capture a full picture of the analysis and avoid biased insights. The result has different viewpoints included in the analysis.

The analysis focuses on three main aspects of research:

- User Satisfaction. Measurement of using a scale (from 1 to 5), and through yes/no responses.

- Data Security. Evaluation of users' safety feelings about patient' s data is.

- Workflow Integration. Assessment of the usability of TIS system fitted into daily work processes.

Responses are gathered via an online survey using Google Forms. The survey was accomplished remotely and participants were able to fill it when it was most convenient for them. It was made to diminish of interrupting participant' s work. The questions covered key areas, namely, a system usability, security consideration, and TIS integration in their institutions.

Each questionnaire question was carefully developed to match the objectives of the study. It used rankings scores and open-ended questions to collect a broad range of data. Some questions are requested by parties to rate TIS usage via their satisfaction. Others are asked their thoughts about data security.

This metric captures the perceived efficiency and usability of the TIS platforms and was analyzed alongside data security and workflow integration variables to identify correlations. Limitations of the study, such as potential biases in questionnaire analysis, were noted and reduced its risks. The assessment steps were taken to mitigate through anonymising responses and conducting the survey remotely.

The research work meets ethical requirements. It was obtained by informing all participants as well as their private information was secured. The participants were informed about the purpose of the research, confidentiality, and the anonymity of their responses.

Data sharing is one of the primary keys of the study. It does not occur seamlessly across systems, which the majority of organisations mentioned in the survey. The proposed architecture can be framed in an integration engine and API gateway for standardisation of the communication channels between the internal modules (TIS, CDSS, Analytics) and external systems (laboratory, pharmacy platforms). Elimination of data fragmentation helps ensure continuous patient care by removing repeated activities in the medical workflow process. Users have expressed in a survey about dissatisfaction with fragmented workflows in domestic medical information systems. It means that ensuring the data sharing process in real-time between all parties TIS system might improve the overall efficiency of the system work.

According to the findings, 72% of users determined data breaches and unauthorised access as the most crucial threats in existing systems. To address this, the proposed architecture includes a multi-layered security approach using OAuth 2.0, encryption, anomaly detection, and audit logs to protect sensitive patient data from login to storage.

Additionally, integrating a blockchain ledger will strengthen the system by improving transparency and keeping with MIS standards. The current security measures directly align with the survey findings. The users will feel confident in system security, resulting in higher levels of satisfaction.

The research indicates one of the main obstacles for deploying telemedicine systems is incapacity for scaling, especially in low-resource

environments. To overcome the current issue, the proposed infrastructure should contain load balancer components and auto-scaling tools. A such technologies allow the system to automatically adapt to changing workloads while maintaining strong performance.

This is especially important during periods of high demand, especially in health emergency situations. In this case, the system must remain available and responsive. This approach directly addresses a common weakness found in many existing systems, as noted in previous studies.

The survey outcomes reveal current systems are commonly adequate, but many users still face difficulties due to poor levels of usability and unproductive workflows. For eliminatation this case, the proposed model should possess interactive dashboards for different user roles. Particularly, it could be a patient portal, a clinical dashboard and an administrative dashboard. This role-based approach ensures a more personalized and user-friendly experience for each user type. Furthermore, the dashboards is able to allow users do rapid data-driven decisions.

The findings display that poor and fragmented data management remains a major issue. One of the possible ways for improvement is designing a specific data layer. The layer can be proposed for handling different types of medical data in a well-organised and efficient way. For instance:

- database will store structured data such as patient records;

- data Warehouses will gather long-term information for analytics and reporting;

- file Storage will manage unstructured data (e.g. medical images with a variety of resolutions).

Combining all the above aspects into a unified system, healthcare providers will gain quick and reliable access to medical information. This will help reduce delays and support more accurate, personalised, and timely patient care.

Conclusion. The findings of this study confirm that Telemedicine Information Systems (TIS) play an important role in improving healthcare processes and outcomes. Nevertheless, key challenges continue to restrict its full potential scaling. Quantitative data revealed that the majority of users identified interoperability issues, while others expressed to anxieties over data security. The results were sustained by qualitative feedback demonstrating that user satisfaction with existing systems remains moderate level. Due to there were usability limitations and security shortcomings.

For overcoming the issue, the study presents an improved system architecture description that highlights data exchange through integration engines and API gateways. They can have a capability for reducing workflow fragmentation. It also introduces robust security mechanisms, including OAuth 2.0, encryption, blockchain integration, and anomaly detection to sustain user trust and ensure data protection principles. Furthermore, the architecture presented mechanisms for scalable applications during periods of high demand.

Through implementation-specific dashboards, administrators, and patients are able to reveal the significant distinguish in usability and align with the diverse their needs. Lastly, the architecture could adopt a structured data management model that unifies databases, data warehouses, and file storage for developing clinical decision-making and long-term analytics.

In contrast to traditional literature reviews, the article contributes new approaches for system architecture that synthesise cutting-edge ML and blockchain technologies with empirical survey findings. This mixed method maintains the practical relevance of the design for ensuring alignment among technical requirements and user satisfaction.

The proposed architecture not only mitigates the well-documented challenges in TIS implementation but also introduces an innovative, integrative model combining ML, blockchain, and modular design—unlike current fragmented solutions. Planned validation and comparative testing will further substantiate its real-world applicability, paving the way for future adoption in scalable digital healthcare deliver services.

References

1. Di Cerbo A., Morales-Medina J.C., Palmieri B., Iannitti T. Narrative review of telemedicine consultation in medical practice // Patient Preference and Adherence. -2015. -Vol.9. -P.65–75. DOI 10.2147/PPA.S61617.

2. Jiang F., Jiang Y., Zhi H., Dong Y., Li H., Ma S., Wang Y. Artificial intelligence in healthcare: Past, present and future // Stroke and Vascular Neurology. -2017. -Vol.2(4). -P.230–243. DOI 10.1136/svn-2017-000101.

3. Albahri O.S., Zaidan A.A., Albahri A.S., Zaidan B.B., Abdulkareem K.H., Al-Qaysi Z.T., Rashid N.A. Systematic review of artificial intelligence techniques in the detection and classification of COVID-19 medical images // Journal of Infection and Public Health. -2020. -Vol. 13(10). -P.1381-1396. DOI 10.1016/j.jiph.2020.06.028.

4. Adeghe E.P., Okolo C.A., Ojeyinka O.T. Evaluating the impact of blockchain technology in healthcare data management: A review of security, privacy, and patient outcomes // Open Access Research Journal of Science and Technology. -2024. -Vol.10(2). -P.013–020. DOI 10.53022/oarjst.2024.10.2.0044.

5. Liu H., Crespo R.G., Martínez O.S. Enhancing privacy and data security across healthcare applications using blockchain and distributed ledger concepts // Healthcare. -2020. -Vol.8(3): 243. DOI 10.3390/healthcare8030243.

6. Ferreira J.C., Elvas L.B., Correia R., Mascarenhas M. Enhancing EHR interoperability and security through distributed ledger technology: A review // Healthcare. -2024. -Vol.12(19): 1967. DOI 10.3390/healthcare12191967.

7. Ahmad R.W., Salah K., Jayaraman R., Yaqoob I., Ellahham S., Omar M. The role of blockchain technology in telehealth and telemedicine // International Journal of Medical Informatics. -2021. -Vol.148:104399. DOI 10.1016/j.ijmedinf.2021.104399.

8. Shynar Y., Seitenov A., Kenzhegarina A., Kenzhetayev A., Kemel A., Ualiyev N., Sakhipov A., Myrzakerimova A., Mursakimova G., Orynbek A. Comprehensive analysis of blockchain technology in the healthcare sector and its security implications // International Journal of E-Health and Medical Communications. -2025. - Vol.16(1). – P.1–45. DOI 10.4018/IJEHMC.372423.

9. Seitenov A., Smagulova G. Distribution of Ethereum blockchain addresses // Scientific Journal of Astana IT University. -2020. -Vol.4 (4). -P.41-48. DOI 10.37943/aitu.2020.36.57.005.

10. Steinman M., Morbeck R.A., Pires P.V., Abreu Filho C.A.C., Andrade A.H.V., Terra J.C.C., Kanamura A.H. Impact of telemedicine in hospital culture and its consequences on quality of care and safety // Einstein (São Paulo). -2015. -Vol.13(4). -P.580–586. DOI 10.1590/S1679-45082015GS2893.

11. Gajarawala S.N., Pelkowski J.N. Telehealth benefits and barriers // The Journal for Nurse Practitioners. -2021. -Vol.17(2). -P.218-221. DOI 10.1016/j.nurpra.2020.09.013.

12. Adeyemi C., Adegoke B.O., Odugbose T. The impact of healthcare information technology on reducing medication errors // International Journal of Frontiers in Medical and Surgical Research. -2024. -Vol. 5(2). -P.20–29. DOI 10.53294/ijfmsr.2024.5.2.0034.

13. Seitenov A., Zhukabayeva T., Sansyzbay K., Kalpakov Y. Design development of medicine information system for telemedicine field // The Bulletin of KazATC. -2023. -4 (127). - P.241-251. DOI 10.52167/1609-1817-2023-127-4-241-251.

14. Mars M., Scott R. Telemedicine service use: A new metric // Journal of Medical Internet Research. -2012. -Vol.14(6): e178. DOI 10.2196/jmir.1938.

15. Dorsey E.R., Topol E.J. State of telehealth // The New England Journal of Medicine. -2016. -

Vol.375(2). -P.154-161. DOI 10.1056/NEJMra160170.

16. Kruse C.S., Karem P., Shifflett K., Vegi L., Ravi K., Brooks M. Evaluating barriers to adopting telemedicine worldwide: A systematic review // Journal of Telemedicine and Telecare. - 2018. - Vol.24(1). - P.4-12. DOI 10.1177/1357633X16674087.

17. Whitten P., Holtz B., Laplante C. Telemedicine What have we learned? // Applied Clinical Informatics. - 2010. – Vol.1(2). -P.132–141. DOI 10.4338/ACI-2009-12-R-0020.

18. Sutton R.T., Pincock D., Baumgart D.C., Sadowski D.C., Fedorak R.N., Kroeker K.I. An overview of clinical decision support systems: benefits, risks, and strategies for success // NPJ Digital Medicine. -2020. -Vol. 3:17. DOI 10.1038/s41746-020-0221-y.

19. Kaushal R., Shojania K.G., Bates D.W. Effects of computerized physician order entry and clinical decision support systems on medication safety: A systematic review // Archives of Internal Medicine. -2003. -Vol.163(12). -P.1409-1416. DOI 10.1001/archinte.163.12.1409.

20. Osheroff J.A., Teich J., Levick D., Saldana L., Velasco F., Sittig D., Rogers K., Jenders R. Improving Outcomes with Clinical Decision Support: An Implementer’s Guide, Second Edition/Chicago: HIMSS Publishing. -2012. -48p. ISBN 978-0984457731; 978-1000396416.

21. Epizitone A., Moyane S.P., Agbehadji I.E. A systematic literature review of health information systems for healthcare // Healthcare. -2023. -Vol.11(7): 959. DOI 10.3390/healthcare11070959.

22. Berner E.S., La Lande T.J. Overview of clinical decision support systems //Clinical Decision Support Systems. -2016. -P.1-17. DOI 10.1007/978-3-319-31913-1_1.

23. DesRoches C.M., Campbell E.G., Rao S.R., et al. Electronic health records in ambulatory care -A national survey of physicians // The New England Journal of Medicine. -2008. - Vol.359(1). -P.50–60. DOI 10.1056/NEJMsa0802005.

24. Häyrinen K., Saranto K., Nykänen P. Definition, structure, content, use and impacts of electronic health records: A review of the research literature // International Journal of Medical Informatics. -2008. -Vol. 77(5). - P.291-304. DOI 10.1016/j.ijmedinf.2007.09.001.

25. Becker S.H., Arenson R.L. Costs and benefits of picture archiving and communication systems // Journal of the American Medical Informatics Association. - 1994. -Vol.1(5). -P.361-371. DOI 10.1136/jamia.1994.95153424

Information about the authors

Seitenov A.S. - PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: altynbekss@gmail.com;

Zhukabayeva T.K.- PhD, Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: tamara.kokenovna@gmail.com.

Сведения об авторах

Сейтенов А.С. - докторант, Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилёва, Астана, Казахстан, e-mail: altynbekss@gmail.com;

Жукабаева Т.К. - PhD, профессор, Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилёва, Астана, Казахстан, e-mail: tamara.kokenovna@gmail.com.

МРНТИ 50.41.29 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1029**

СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ ДОПОЛНЕННОЙ ПОИСКОМ ГЕНЕРАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМ АНАЛИЗА НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ АКТОВ КАЗАХСТАНА

И.Н. Букенова, С.И. Компан, Г.С. Букенов, Б.А. Казангапова

Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан

Корреспондент-автор: ibukenowa@mail.ru

Фундаментальными ограничениями для LLM остаются их статичные знания и, следовательно, риск генерации недостоверной информации, “галлюцинаций”. Технология Retrieval-Augmented Generation (RAG) была предложена для преодоления этих проблем путем интеграции с внешними базами знаний с проверенной актуальной информацией. Однако стандартные RAG парадигмы на основе векторов оказались неэффективны для сложных запросов, в которых необходимы более глубокие размышления или синтез информации из нескольких фрагментов. Как перспективная альтернатива рассматривается GraphRAG, вид RAG использующий структурированное представление знаний в виде графов. Но вопрос сравнительной эффективности, баланса качества и ресурсов для GraphRAG против векторных систем, особенно в специфических направлениях (как правовая система Казахстана), исследован еще недостаточно. Данная работа представляет количественный эксперимент: мы сравнили базовый векторный RAG с двумя конфигурациями Microsoft GraphRAG (локальным/глобальным поиском), используя gpt-4.1-nano и text-embedding-3-small для создания индексов. Эксперимент проводился на корпусе 15 НПА РК (10.1 млн. символов, 1.24 млн. слов, ~28,700 фрагментов). Был создан синтетический датасет из 250 вопросов - 50 одношаговых, 100 многошаговых, 100 тематических. Для оценки применялся комплекс метрик: качество поиска (NDCG@10, Context Recall/Precision), качество ответа (LLM-as-Judge оценка по релевантности, точности, полноте, обоснованности) и ресурсы (стоимость/задержка). Результаты ($p<0.05$) свидетельствуют: GraphRAG с локальным поиском (оптимально при доле извлечения текста 0.50) статистически превосходит векторный RAG по качеству извлечения в multi-hop задачах (NDCG@10: 0.657 vs 0.555, +18.6%; Context Recall: 0.710 vs 0.544, +16.6%, при пиковой Context Precision 0.784). GraphRAG с глобальным поиском лидирует по качеству итоговых ответов для тематических вопросов (Quality Score: 3.89; +22.3% vs векторного RAG). Анализ параметров локального поиска GraphRAG подтвердил наличие явного Парето-фронта “качество-ресурсы”. На основе полученных результатов мы сделали выводы: графовые системы формируют границу производительности для сложных запросов, но ценой больших затрат, векторный RAG сравнительно хорошо справляется с одиночными вопросами, при этом экономичнее. Исследование дает эмпирические основания для выбора RAG-архитектуры в зависимости от предпочтений в юридической сфере, учитывая тип запроса и ресурсы.

Ключевые слова: генерация дополненная поиском, информационный поиск, большие языковые модели, графовые представления знаний, векторные представления знаний

COMPARISON OF SEARCH-AUGMENTED GENERATION APPROACHES FOR REGULATORY ANALYSIS SYSTEMS IN KAZAKHSTAN

I.N. Bukenova, S.I. Kompan, G.S. Bukenov, B.A. Kazangapova

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: ibukenowa@mail.ru

The main technical challenges that affect LLMs include frozen knowledge maintenance and the generation of “hallucinations.” RAG tries to tackle the problem through external knowledge base linkage to models which verify their information sources. Our investigation exposed that standard vector-based

RAG struggles when handling combined information retrieval tasks from multiple knowledge sources. The knowledge organization system GraphRAG presents another option instead of standard vector-based systems. Research needs more extensive evaluation of GraphRAG performance relative to vector-based methods and their quality versus cost impact in Kazakhstan's legal context. An experiment was conducted to assess Microsoft GraphRAG (local and global search configurations) when compared to a baseline vector RAG for text generation purposes with gpt-4.1-nano and text-embedding-3-small indexing model selection. A total of 15 Kazakhstani legal documents served as the corpus basis containing 10.1M characters together with 1,24M words and 28,700 fragments. After creating 250 test questions we separated them into single-step (50) and multi-step (100) and thematic (100) categories. The assessment analyzed how well information was retrieved using NDCG@10 and Context Recall/Precision measurements as well as how well the system performed in generating answers (relevance, accuracy, completeness, and justification) and the allocation of resources against evaluation tasks (cost, latency). Significant findings emerged ($p<0.05$). The best performance was achieved by GraphRAG with local search when operating at 50% text extraction because it provided superior results to vector RAG throughout multi-step queries (+18.6% NDCG@10 to 0.657; +16.6% Context Recall at 0.710; peak Context Precision 0.784). The global search GraphRAG variant produced answers with superior quality ratings for thematic questions (3.89 Quality Score which represented a 22.3% better score than vector RAG). Science-based optimization proved that GraphRAG creates a separate area in the quality-resource design space. The increased complexity level of using graph-based systems comes with associated higher implementation expenses. Vector RAG stands as an economically advantageous solution for basic information queries. The obtained results help engineers pick RAG architectures for legal applications through combinations of query requirements and system resource guidelines.

Keywords: augmented Search Generation, Information Search, Large Language Models, Graph Representations of Knowledge, Vector representations of Knowledge

ҚАЗАҚСТАННЫҢ НОРМАТИВТІК-ҚҰҚЫҚТЫҚ АКТІЛЕРІН ТАЛДАУ ЖҮЙЕЛЕРІ ҮШІН ІЗДЕУМЕН ТОЛЫҚТЫРЫЛҒАН ГЕНЕРАЦИЯ ТӘСІЛДЕРІН САЛЫСТЫРУ

И.Н. Букенова✉, С.И. Компан, Г.С. Букенов, Б.А. Казангапова

Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан,
e-mail: ibukenowa@mail.ru

LLM үшін іргелі шектеулер олардың статикалық білімі болып қала береді, сондықтан жалған ақпарат, "галлюцинация"пайда болу қаупі бар. Retrieval-Augmented Generation (RAG) технологиясы дәлелденген өзекті ақпаратпен сыртқы білім базаларымен біріктіру арқылы осы қиындықтарды жеңу үшін ұсынылды. Дегенмен, векторларға негізделген стандартты Rag парадигмалары тереңірек ойлауды немесе бірнеше үзінділерден ақпаратты синтездеуді қажет ететін күрделі сұраулар үшін тиімсіз болып шықты. GraphRAG перспективті альтернатива ретінде білімнің графиктер түріндегі құрылымдық көрінісін пайдаланатын RAG түрі болып саналады.Бірақ салыстырмалы тиімділік, сапа балансы және graphrag үшін ресурстар мәселесі векторлық жүйелерге қарсы, әсіресе нақты бағыттарда (Қазақстанның құқықтық жүйесі ретінде) әлі зерттелмеген. Бұл жұмыс сандық экспериментті ұсынады: біз индекстерді құру үшін GPT-4.1-nano және text-embedding-3-small көмегімен негізгі векторлық RAG-ді екі Microsoft GraphRAG конфигурациясымен (жергілікті/Ғаламдық іздеу) салыстырдық. Эксперимент ҚР 15 НҚА корпусында жүргізілді (10.1 млн.таңба, 1.24 млн. сөз, ~28,700 фрагмент).250 сұрақтан тұратын синтетикалық деректер жиынтығы құрылды - 50 бір сатылы, 100 көп сатылы, 100 тақырыптық. Бағалау үшін көрсеткіштер кешені қолданылды: іздеу сапасы (ndcg@10, Context Recall/Precision), жауап сапасы (LLM-as-Judge өзектілігі, дәлдігі, толықтығы, дұрыстығы бойынша бағалау) және ресурстар (cost/latency). Нәтижелер ($P<0.05$) мынаны көрсетеді: жергілікті іздеумен GraphRAG (0.50 мәтінді шығару үлесі үшін оңтайлы) көп саты-

лы есептердегі экстракция сапасы бойынша векторлық RAG-дан статистикалық түрде асып түседі (ndcg@10: 0.657 vs 0.555, +18.6%; Context Recall: 0.710 vs 0.544, +16.6%, шыңы кезінде context precision 0.784). Жаһандық іздеуі бар GraphRAG тақырыптық сұрақтарға қорытынды жауаптардың сапасы бойынша көш бастап тұр (Quality Score: 3.89; +22.3% vs векторлық RAG). GraphRAG жергілікті іздеу параметрлерін талдау нақты ”сапа-ресурстар” Парето майданының болуын растады. Алынған нәтижелерге сүйене отырып, біз қорытынды жасадық: графикалық жүйелер күрделі сұраулар үшін өнімділік шекарасын қалыптастырады, бірақ үлкен шығындармен векторлық RAG бір сұрақтармен салыстырмалы түрде жақсы жұмыс істейді, ал үнемді. Зерттеу сұрау түрі мен ресурстарды ескере отырып, заң саласындағы қалауларға негізделген RAG архитектурасын таңдауға эмпирикалық негіз береді.

Түйін сөздер: іздеумен толықтырылған генерация, ақпараттық іздеу, үлкен тілдік модельдер, білімнің графикалық көріністері, білімнің векторлық көріністері

Введение. Генерация, дополненная поиском (RAG) расширяет функционал больших языковых моделей, сочетает их параметрическую память с внешним корпусом знаниям через ретривер [1]. Появление этого подхода обусловлено как раз ограничениями самих моделей: статичностью знаний [2, 3] и склонностью к “галлюцинациям” [4]. Проблема особенно остра в сферах с высоким требованием к точности информации, например в праве, но даже коммерческие решения тут показывают уровень галлюцинаций 17-33% [5]. Извлекая релевантную информацию во время генерации [1, 6], этот подход повышает точность ответов, превосходя, к примеру, BART на 35.6% по фактологичности (42.7% vs 7.1%), на 20.6% по специфичности (37.4% vs 16.8%) на некоторых задачах [1]. Также доминирует над моделями типа T5-11B на наукоемких задачах (+7.9% EM на NQ) [1].

Актуальность исследования обусловлена несколькими факторами. Во-первых, юридическая сфера предъявляет повышенные требования к достоверности информации: даже коммерческие LLM-решения демонстрируют уровень галлюцинаций 17-33% на юридических задачах [5], что недопустимо для практического применения. Во-вторых, правовая система Казахстана характеризуется сложной структурой взаимосвязанных нормативных актов, содержащих многочисленные отсылки между документами, что создает объективную потребность в методах, способных учитывать эти связи при информационном поиске. В-третьих, несмотря на активное развитие технологий подхода генерации дополненной поиском на основе графов, отсутствуют эмпирические данные об их эффективности на корпусах НПА постсоветских юрисдикций, что затрудняет принятие обоснованных решений при разработке систем правовой аналитики для региона СНГ. Наконец, высокая ресурсоемкость графовых методов требует количественной оценки компромиссов между качеством и затратами для обоснования их внедрения в практику.

Практическая значимость работы заключается в предоставлении эмпирических оснований для выбора архитектуры таких-систем при разработке инструментов правовой аналитики, с учетом специфики запросов и доступных вычислительных ресурсов.

Парадигмы подходов развиваются от ранних наивных и продвинутых к модульным подходам, использующих графы для представления и поиска [7], включая основанные на знаниях, на индексах и гибридные типы [2, 3], которые лучше справляются с многошаговыми рассуждениями [2]. Графовый подход выделяет этапы: построение графа, индексация, конфигурация операторов и извлечение/генерация [4]. Индексация начинается с чанкинга (размер/перекрытие влияют на стоимость/полноту [4, 8]) с использованием разных стратегий (от фиксированного размера до RCTS [9] или семантического [10]). На этапе построения графа LLM [8, 11] или OpenIE [12] извлекают сущности, отношения и утверждения. RAKG-подход улуч-

шает графовое конструирование [10]. Используются различные графы: граф фрагментов, деревья (RAPTOR [13]), граф знаний, контекстуальный граф знаний, обогащенный граф знаний [4]. Иерархическая структуризация (например, алгоритм Leiden в Microsoft GraphRAG [8], LLM-кластеризация в ArchRAG [14], деревья кластеров RAPTOR [13], гетерогенные графы NodeRAG [11]) организует граф для высокоуровневого извлечения. Индексация создает эмбеддинги (text-embedding-3 [9], BGE-M3 [10]) для чанков, узлов и резюме сообществ [8, 11, 14], сохраняемые в векторных БД (FAISS HNSW [1], LanceDB, C-HNSW ArchRAG [14]). Для снижения стоимости предложены multi-granular индексы (KET-RAG [15]). Цикл поиска может включать декомпозицию (PlanRAG [12]), расширение (RoK [16]) или извлечение сущностей (NodeRAG [11]). Основной этап - извлечение - выполняется разными методами: стандартный векторный поиск [1], графовые локальный и глобальный поиск [8, 17], обход соседей (K-hop, PPR [11, 12]), GNN-based (GFM-RAG [18]), иерархический (ArchRAG [14], RAPTOR [13]) и гибридный (TREX [13]). Эмпирические данные показывают преимущества локального поиска для multi-hop запросов (+0.72% F1 HotpotQA [17]) и глобального поиска для тематических запросов [8]. Продвинутые методы (GFM-RAG, NodeRAG, ArchRAG, TCR-QF [19], TREX [13]) демонстрируют значительные улучшения (+16.8% R@2, +4.58% Acc, +10% Acc, +29.1% EM соответственно). Пост-обработка включает реранжирование (REBEL улучшает качество ответа [20], но общие реранкеры могут ухудшать результаты в доменах [9]). Итоговая генерация ответа выполняется LLM [1]; для глобального поиска часто используют MapReduce [4, 8]. Фреймворки вроде PAR RAG интегрируют планирование и верификацию (EM 0.75 HotpotQA [12]).

Несмотря на все это, и векторный, и графовый подход сталкиваются с вызовами. Качество извлечения ключевая проблема; оптимизация лишь по релевантности недостаточна “relevance bottleneck” [20]. Уязвимость к проблеме ошибочного извлечения (падение точности до 45.8% [21]) и низкая точность извлечения в сфере права (Precision@1 < 15% [9]) сохраняется. Автоматически построенные графы знаний страдают от потери информации и неполноты [19, 22]. Это снижает производительность (до -14.7% точности при разрыве пути [22]). Качество графа напрямую влияет на результат [10]. Стоимость и эффективность - важный аспект. Построение и индексация графов затратны [13, 15] (графовый ~2.8x дороже векторный [23]). Сложные пайплайны (PAR RAG, глобальный поиск) характеризуются высокой задержкой и стоимостью (иногда >100K токенов/запрос [4, 12]). Оптимизация гиперпараметров сложна из-за множества целей и стоимости оценки [23]. Оценка - нерешенная проблема, стандартные метрики слабо коррелируют с человеческими суждениями (ρ Спирмена ~0.48 [24]), использование языковых моделей в качестве судей ненадежны ($\alpha < 0.16$ [24]), бенчмарки не измеряют сложность [25], оценка OLAP-запросов открыта [13]. LLM трудно синтезировать информацию из множества документов (эффект «потери в середине» [13]), а интеграция рассуждений чревата избыточным обдумыванием [6].

Следует отметить, что большинство существующих исследований систем для юридической сферы сфокусированы на англоязычных корпусах и юрисдикциях общего права [9], тогда как специфика правовых систем СНГ, основанных на романо-германской традиции и характеризующихся иной структурой кодификации, остается недостаточно изученной. Исследования по применению технологий в правовой сфере в регионе СНГ немногочисленны и преимущественно посвящены отдельным прикладным задачам, без систематической оценки современных архитектур.

Эти ограничения определяют актуальность исследования. Цель работы - провести количественную оценку сравнительной эффективности векторных и графовых подходов применительно к корпусу нормативно-правовых актов Республики Казахстан, с выявлением компромиссов между качеством извлечения информа-

ции и вычислительными ресурсами. Задачи исследования: Построить экспериментальную инфраструктуру для сравнения базового векторного и двух конфигураций Microsoft GraphRAG (локальный и глобальный поиск) на корпусе НПА РК. Оценить статистически значимые различия в качестве извлечения контекста (NDCG@10, Context Recall/Precision) между графовым локальным поиском и векторным на multi-hop запросах. Исследовать влияние параметра доли извлечения текста (p(txt)) в локальном поиске на баланс между качеством извлечения и потреблением ресурсов. Установить сравнительную эффективность глобального поиска относительно векторного для тематических запросов по метрикам качества финального ответа. Определить позиционирование исследуемых систем в пространстве «качество-ресурсы» и выявить наличие доминирующего Парето-фронта. Гипотеза исследования: Графовые подходы обеспечивают статистически значимое превосходство над векторными методами в задачах, требующих многошагового рассуждения и тематического обобщения, формируя доминирующий фронт в пространстве «качество-ресурсы», однако ценой существенно больших вычислительных затрат. Научная новизна исследования заключается в следующем: Впервые проведена количественная оценка эффективности графовых подходов применительно к корпусу НПА постсоветской юрисдикции (Республика Казахстан). Установлены статистически значимые закономерности влияния параметра доли извлечения текста p(txt) на баланс качества и ресурсов в локальном поиске, включая выявление нелинейных зависимостей и точки оптимума. Проведен комплексный Парето-анализ позиционирования векторных и графовых систем в многомерном пространстве метрик качества и ресурсов для различных типов запросов. Получены эмпирические свидетельства формирования графовыми системами доминирующего Парето-фронта для сложных multi-hop и тематических запросов в правовой предметной области. Исследовательские вопросы: RQ1. Обеспечивает ли GraphRAG с локальным поиском статистически значимое ($p<0.05$) превосходство над векторным на multi-hop запросах? RQ2. Как изменение параметра доли извлечения текста p(txt) в локальном поиске влияет на метрики качества и ресурсы (latency (задержка отклика), стоимость) при обработке multi-hop запросов? RQ3. Превосходит ли GraphRAG с глобальным поиском векторный по метрикам качества итогового ответа и полноты контекста на тематических запросах ($p<0.05$)? RQ4. Какова конфигурация исследуемых систем в пространстве «качество-ресурсы» и формируют ли графовые подходы доминирующий Парето-фронт относительно векторных методов? исследовательские вопросы RQ.1. Превосходит ли Graph RAG с локальным поиском векторный для multi-hop запросов ($p<0.05$)? 2. Как p(txt) локального поиска влияет на разные метрики для multi-hop запросов запросах? 3. Лучше ли глобальный поиск графового способа, чем векторный на тематических запросах)? (4. Каково позиционирование систем в пространстве “качество-ресурсы” и формируют ли графовые RAG доминирующий фронт?

Материалы и методы. Корпус составили 15 НПА Казахстана: (Административный, Гражданский (Общая и Особенная) части, Гражданский, Уголовный, Уголовно-процессуальный, Предпринимательский, Трудовой, Земельный, О браке (супружестве) и семье, Налоговый кодекс. Также вошли Конституция РК и законы о противодействии коррупции, о правовых актах и о жилищных отношениях). Общий объем: 10.1 млн. символов, 1.24 млн. слов. Исходные HTML мы взяли с «Әділет», для обработки написали парсер, он выполнял обход DOM дерева документов и находил структурные единицы (статьи, пункты, подпункты) на основе регулярных выражений (r”Статья\s+(\d+)”, r”^(\d+)\.”, r”^(\d+)\)”) и анализе тэгов (< p>, < b>, < i>). Каждому фрагменту присваивался идентификатор (он формировался конкатенацией из кода документа, номера статьи и иерархии пунктов/подпунктов (пример: NK_RK_st681_p8_sp1)), извлекался текст, метаданные и ссылки. Была получена коллекция из 28,718 фрагментов. Пример записи: {”fragment_id”: ”NK_RK_st681_p8_sp1”,

..., ”text”: ”...в соответствии со статьями 330, ...”, ”cross_refs”: [{”link_text”: ”статьями 330”, ”raw_href”: ”/rus/docs/K1700000120#z330”}, ...], ...}.

Из-за отсутствия бенчмарка создан синтетический датасет (250 пар “вопрос-ответ”), что является распространенной практикой [9, 25]. Вопросы генерировались с gpt-4.1-nano, 3 типов: single-hop (ответ в одном фрагменте), multi-hop (требуют синтеза из нескольких связанных фрагментов [2, 6]) и thematic (общая тема, OLAP-подобные [13]). Каждая запись в датасете содержит question_id, question, question_type, ground_truth_ids((список fragment_id) и source_fragments_text (тексты). Примеры записей (вопросов) в датасете: для single-hop: {”question_id”: ”q_074”, ”question”: ”Каковы последствия расторжения инвестиционного контракта, по которому я получал инвестиционную субсидию?”, ”question_type”: ”single-hop”, ”ground_truth_ids”: [”PK_RK_st295_p6-1”], ”source_fragments_text”: [”В случае расторжения инвестиционного контракта юридическое лицо Республики Казахстан возмещает в полном объеме сумму инвестиционной субсидии, выплаченной по инвестиционному контракту.”]}, для thematic: {”question_id”: ”234”, ”question”: ”Каковы сроки и порядок уплаты корпоративного подоходного налога?”, ”question_type”: ”thematic”, ”ground_truth_ids”: [”NK_RK_st306_p1”, ”NK_RK_st306_p2”, ”NK_RK_st306_p3”, ”NK_RK_st305_p2_sp1”], ”source_fragments_text”: [”Если иное не установлено настоящей статьей, налогоплательщик осуществляет уплату по корпоративному подоходному налогу по итогам налогового периода не позднее десяти календарных дней после срока...”, ”Сумма корпоративного подоходного налога, подлежащего уплате в бюджет, уменьшается на сумму корпоративного подоходного налога...”, ”Налогоплательщик, удерживающий корпоративный подоходный налог у источника выплаты...”, ”уплату исчисленных авансовых платежей по корпоративному подоходному налогу…”]}. Для multi-hop: {”question_id”: ”q_049”, ”question”: ”Как происходит погашение налоговой задолженности, если умерший человек был индивидуальным предпринимателем?”, ”question_type”: ”multi-hop”, ”ground_truth_ids”: [”NK_RK_st66_p9”, ”NK_RK_st47_p2”], ”source_fragments_text”: [”Налоговая задолженность индивидуального предпринимателя или лица, занимающегося частной практикой, прекращающих деятельность, погашается за счет денег указанного индивидуального предпринимателя или лица, занимающегося частной практикой, в том числе полученных от реализации его имущества, в порядке очередности, установленной законами Республики Казахстан.”, ”В случае если наследник (наследники) является (являются) несовершеннолетним (несовершеннолетними), то обязательство по погашению налоговой задолженности физического лица, образовавшейся на день его смерти или на дату объявления его умершим, в пределах стоимости наследуемого имущества и пропорционально доле в наследстве на дату его получения возлагается на такого (таких) наследника (наследников) только на основании вступившего в силу решения суда.”]}.

Индекс построен фреймворком Microsoft GraphRAG [8]. Использовались gpt-4.1-nano и модель text-embedding-3-small. Текстовые фрагменты (TextUnits, ~35,000 после чанкинга длинных текстов (chunk_size=1024, chunk_overlap=100)) индексировались. Чанки группировались по fragment_id. Граф строился извлечением сущностей (11 типов: Person, Organization, Location, Event, Statute, Regulation, CaseLaw, Term, Penalty, Right, Obligation) и семантических отношений с помощью LLM [8]. Извлеченные ранее кросс-ссылки были добавлены как структурные ребра. Итоговый граф включал узлы сущностей и текстовые единицы, а также вышеперечисленные типы ребер. Параметры экстракции: max_gleanings=2, batch_size=4. Применялся алгоритм Leiden для иерархической кластеризации графа (L1, L2) [4, 8]. Генерировались эмбеддинги для TextUnits, сущностей, отношений и резюме кластеров [8]. Финальный индекс состоял из набора файлов Apache Parquet (entities.parquet,

relationships.parquet, communities.parquet, reports.parquet, text_units.parquet) и векторного индекса LanceDB для эмбеддингов. Векторный индекс для построен библиотекой FAISS [1] на тех же эмбеддингах и TextUnits, использовался IndexHNSWFlat с косинусной метрикой. Все системы использовали gpt-4.1-nano для генерации ответов. Конфигурации: GR-L(p) - графовый локальный [8, 17], поиск от близких к запросу узлов к соседям; параметр p(txt) (доля извлекаемых текстов из сообществ) тестировался для значений 0.25, 0.50, 0.75. GR-G - графовый глобальный [8, 17], поиск по резюме сообществ верхнего уровня (L2), подходит для тематических запросов [13]. VR - стандартный векторный [1], поиск k=5 ближайших фрагментов. Оценка включала: метрики извлечения (NDCG@10, ContextRecall, ContextPrecision, MRR@10, Recall@5, Precision@5); метрики ресурсов (время ответа, стоимость API вызовов по тарифам gpt-4.1-nano-2025-04-14 вход: $0.10 / выход: $0.40); метрику качества ответа (оценка LLM-судьей gpt-4.1-mini по 5-балльной шкале по релевантности, точности, полноте, обоснованности) (такая оценка соответствует современным практикам) [8, 24, 26].

Обсуждение и результаты. В этом разделе представлены результаты. Рассмотрим таблицу 1. Порядок вопросов для всех систем сверху вниз: многошаговые, одношаговые, тематические. Значения метрик указаны средние. стоимость указана умноженная на 1000. Примечание: в таблице не написаны типы вопросов с целью экономии места.

Таблица 1 - Системы - типы вопросов – метрики

Система	NDCG@10	Recall	Precision	Quality	Latency	Стоимость
GR-G	0.677	0.808	0.622	3.688	22289	0.772
	0.634	0.790	0.702	3.625	17941	0.698
	0.702	0.686	0.601	3.888	23437	0.818
GR-L 0.25	0.627	0.611	0.745	3.571	9817	0.350
	0.715	0.702	0.729	3.555	7627	0.311
	0.640	0.628	0.735	3.475	10224	0.394
GR-L 0.5	0.657	0.710	0.784	3.613	15709	0.549
	0.758	0.783	0.751	3.521	13854	0.489
	0.677	0.709	0.769	3.582	19216	0.608
GR-L 0.75	0.618	0.828	0.494	3.620	22533	0.752
	0.682	0.835	0.560	3.433	22973	0.678
	0.620	0.763	0.611	3.380	28222	0.818
VR	0.555	0.544	0.487	3.305	11318	0.220
	0.684	0.789	0.734	3.656	10168	0.209
	0.549	0.624	0.465	3.179	11164	0.243

RQ B1: Сравнение GR-L(0.50) и векторного на multi-hop запросах выявило преимущество графового подхода. Средний NDCG@10 для GR-L(0.50) составил 0.657 против 0.555 у векторного. Средний ContextRecall также выше: 0.710 против 0.544. Визуальное сравнение представлено на Рисунке 1 (верхние панели).

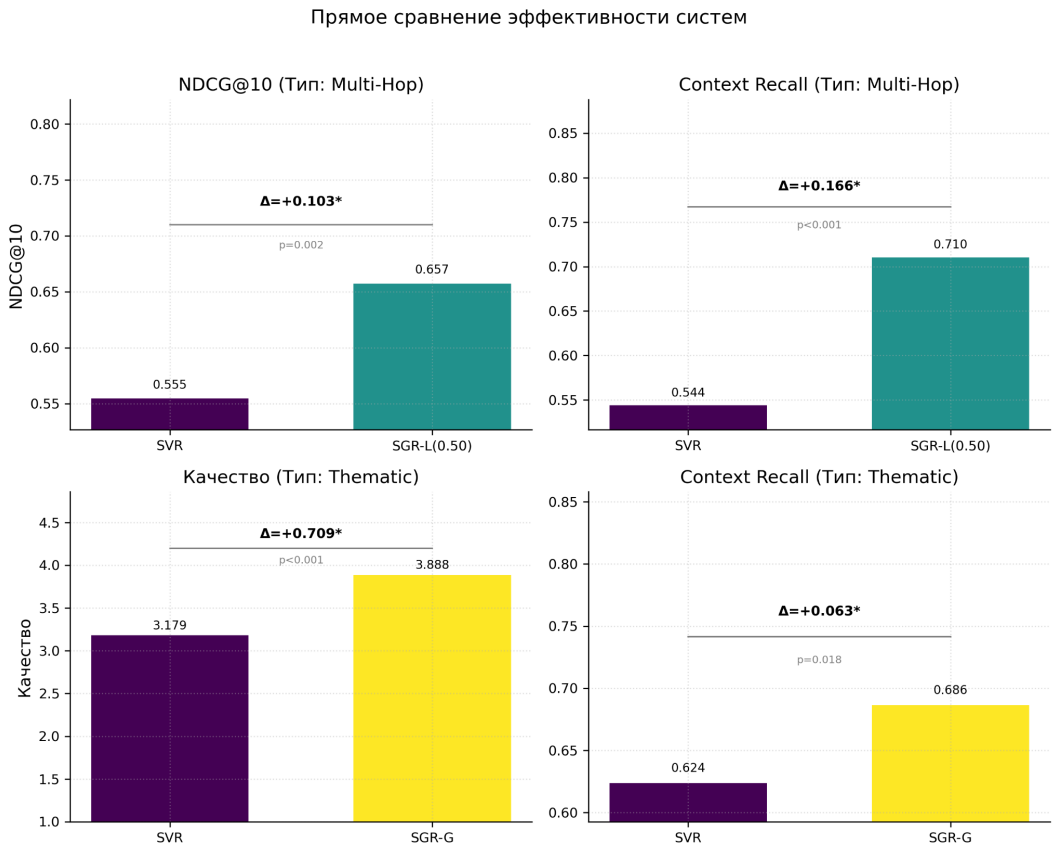


Рис.1 - Сравнение систем на multi-hop запросах (RQ B1, верхние панели) и на тематических запросах (RQ B3, нижние панели)

Таблица 2 - Результаты парного t-теста. Сравнение графового локального с векторным на multi-hop запросах и глобальным графовым с векторным на тематических запросах

Сравнение	Метрика	Статистика t	p-значение	Ср. разница
GR-L 0.25 vs VR	NDCG@10	2.078	0.0202	+0.072
	ContextRecall	2.229	0.0141	+0.067
GR-L 0.50 vs VR	NDCG@10	2.986	0.0018	+0.103
	ContextRecall	5.561	0.0001	+0.166
GR-L 0.75 vs VR	NDCG@10	1.859	0.0330	+0.063
	ContextRecall	10.126	0.0001	+0.284
GR-G vs VR	Quality Score	7.713	0.0001	+0.709
	ContextRecall	2.126	0.0180	+0.063

Статистический анализ подтвердил значимость этих различий (таблица 2). Это свидетельствует о статистически значимом превосходстве графового локального в извлечении релевантного контекста для multi-hop запросов.

Исследование параметра p для графового локального для multi-hop запросов доказало нелинейную зависимость и компромиссы (рисунок 2,

панель A). Средний NDCG@10 достигает максимума (0.657) при p = 0.50, снижаясь при p = 0.75 (0.618). ContextPrecision также максимален при p = 0.50 (0.784) и резко падает при p = 0.75 (0.494). ContextRecall монотонно растет с p (таблица 1). Затраты ресурсов также монотонно увеличиваются с ростом p (таблица 1, Рисунок 3).

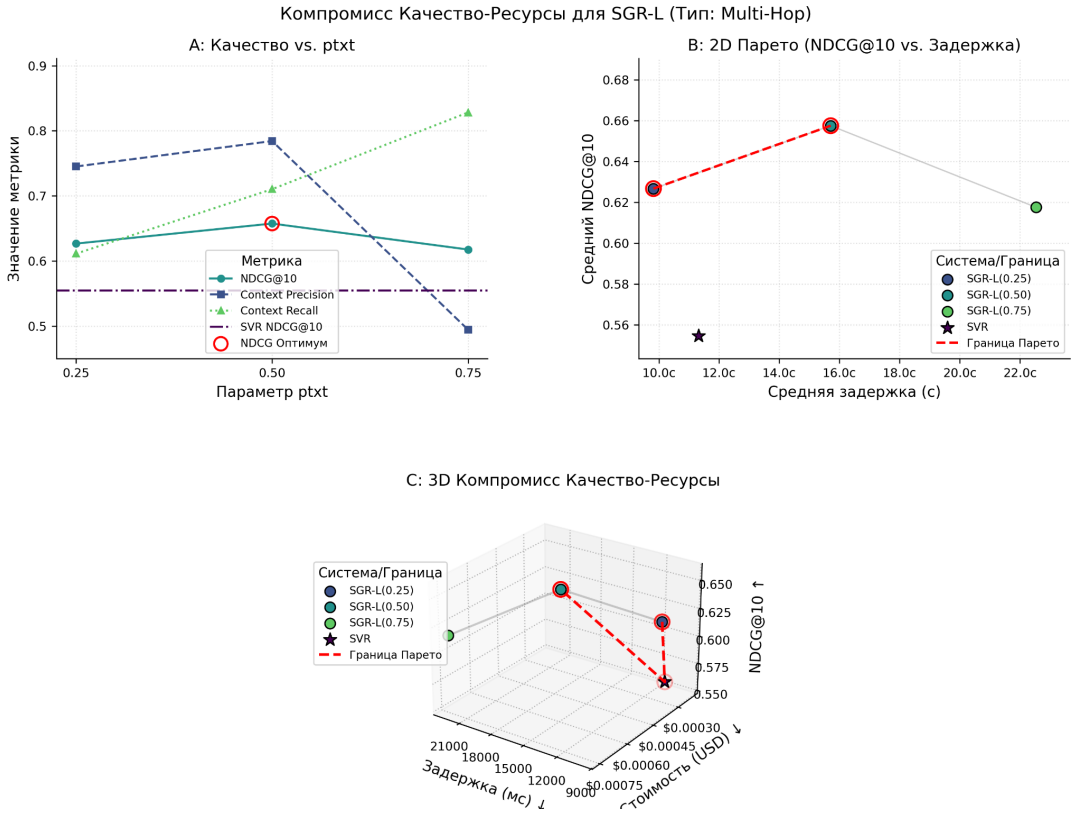


Рис.2 - Анализ компромиссов на multi-hop запросах (RQ B2)

A: Зависимость NDCG@10 и ContextPrecision от p(txt). B: Парето-фронт в пространстве NDCG@10 vs Latency. C: Парето-фронт в пространстве NDCG@10 vs. Задержка vs. Стоимость. Отмечен оптимальный по NDCG@10 вариант графового локального с 0.50

Парето анализ (см. рисунок 2, панели B и C) показывает, что графовые локальные варианты формируют фронт компромисса. Параметр 0.50 представляет собой сбалансированный вариант, наилучшее качество ранжирования NDCG@10 и умеренные затраты ресурсов среди графовых систем с локальным поиском. Векторный находится вне этого фронта, уступая по NDCG@10 при сравнимой или большей задержке, чем с параметром 0.25)

На тематических запросах глобальный графовый показал лучшие результаты по качеству финального ответа. Средняя оценка качества для него составил 3.89 против 3.18 у векторного (Рисунок 1, нижние панели). ContextRecall также был выше у графового глобального (0.686 против 0.624). Статистический анализ (Таблица 2) подтвердил значимость этих различий ($p < 0.0001$ для качества ответа, $p = 0.018$ для ContextRecall). Система глобального обеспечивает более качественные и полные ответы на тематические запросы по сравнению с векторным. Общий анализ производительности систем выявляет четкие профили (Таблица 1, Рисунки 4 - радарные диаграммы, 5, 6). Векторный является наиболее экономичной системой по ресурсам (минимальные средние задержка и стоимость для всех типов запросов). Однако ее показатели качества (NDCG@10, ContextRecall, Ка-

чество) уступают графовым аналогам, особенно на multi-hop и тематических запросах. Локальный демонстрирует гибкость. Изменение параметра позволяет настраивать баланс между качеством и ресурсами.0.25 - наиболее быстрый и дешевый графовый вариант.0.50 часто является оптимальным компромиссом.0.75 обеспечивает максимальную полноту (ContextRecall) ценой снижения точности и увеличения затрат. Глобальный лидирует по качеству ответов и качеству ранжирования (NDCG@10) на тематических запросах. Она также показывает высокие результаты на multi-hop запросах. Однако эта система является наиболее ресурсоемкой (максимальные средние задержка, стоимость).

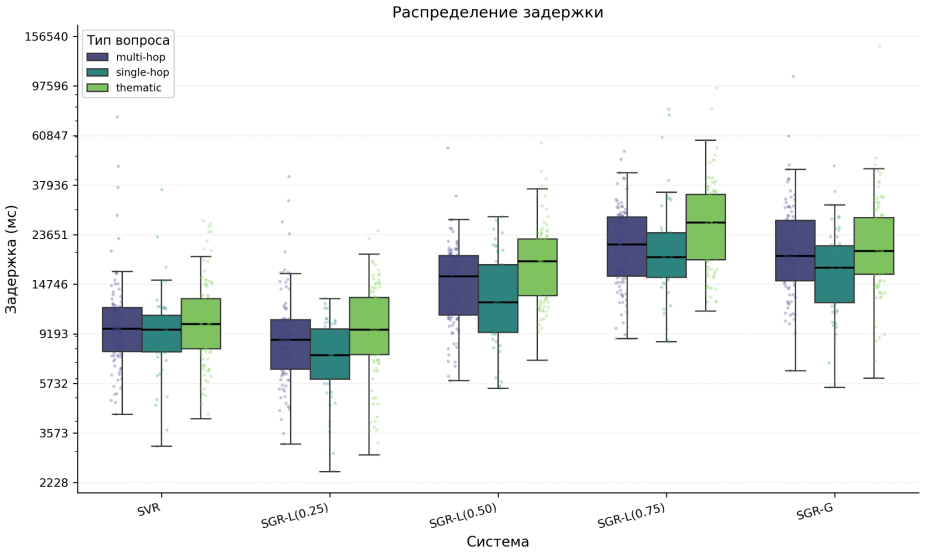


Рис.3 - Распределение времени задержки (ms) по системам и типам запросов (логарифмическая шкала). Показаны медианные значения (k = 1000)

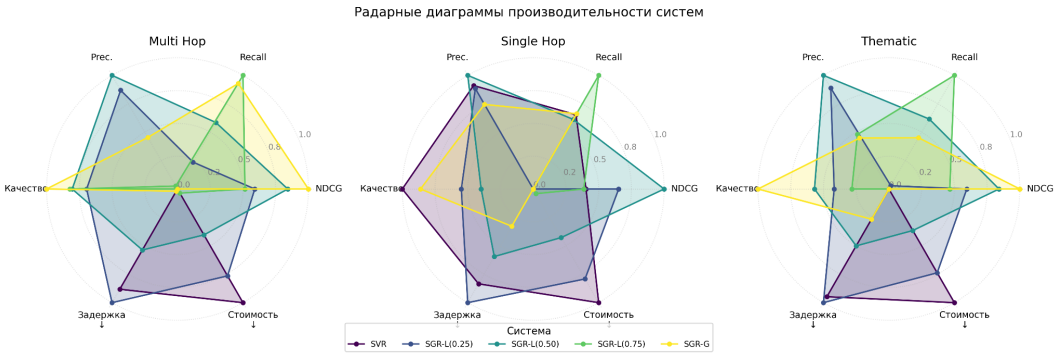


Рис.4 - Радар-диаграммы для сравнения производительности систем по нормализованным метрикам (Precision, Recall, NDCG@10, качество ответа (Quality Score), задержка (Latency), стоимость) для каждого типа вопросов. Оси Задержка и Стоимость инвертированы (лучше - дальше от центра)

Эмпирические кумулятивные функции распределения (Рисунок 6) подтверждают эти наблюдения. Кривые для графовых систем локального и глобального часто смещены вправо (к лучшим значениям) по сравнению с векторным для метрик NDCG@10 и ContextRecall. Для качества доминирует графовые общие.

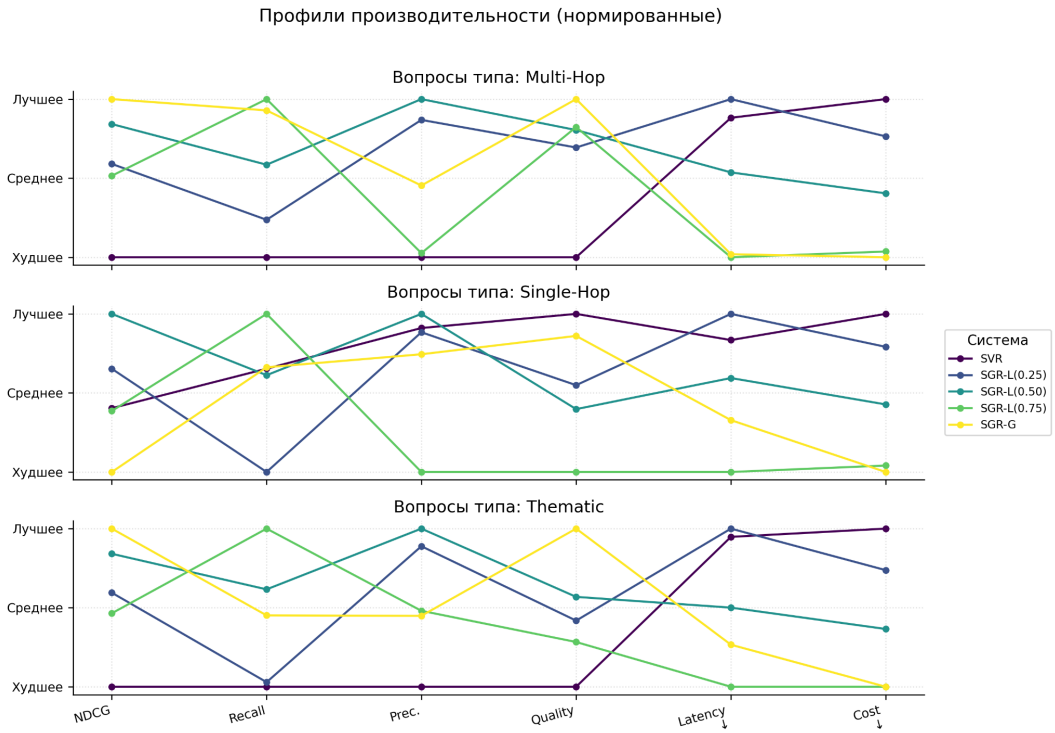


Рис.5 - Диаграммы параллельных координат для визуализации профилей производительности систем по нормализованным метрикам для каждого типа вопросов. Оси ресурсов инвертированы (выше - лучше)

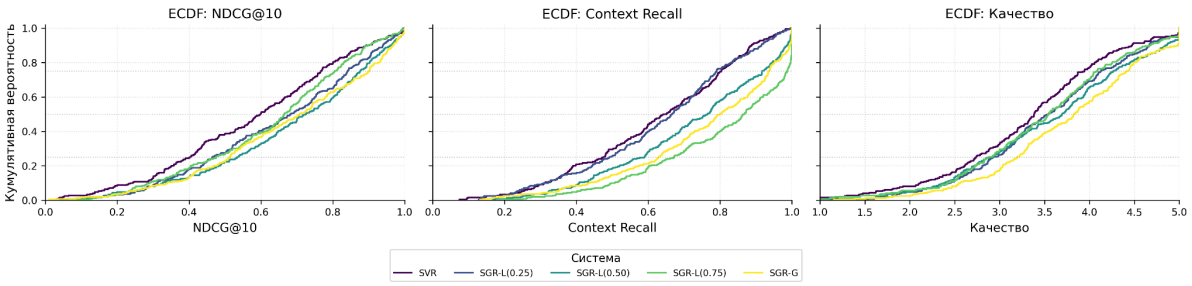


Рис.6 - ECDF для метрик NDCG@10, Context Recall, Качество по типам вопросов

В целом, графовые системы локального, глобального формируют доминирующий Парето-фронт в пространстве ”качество-ресурсы”. Предлагают лучшее качество извлечения по сравнению с векторным, особенно для multi-hop и тематических запросов. Но требуют больших вычислительных ресурсов. Выбор конкретной системы зависит от приоритетов задачи: экономия ресурсов - векторный, сбалансированная производительность - локальный с 0.50 или максимальное качество на тематических запросах - глобальный.

Выводы. Наши результаты эмпирически подтверждают преимущества графовых подходов над векторными для сложных запросов. Локальные статистически достоверно ($p<0.05$) улучшает метрики извлечения NDCG@10 и Recall для multi-hop вопросов по сравнению с векторным. В частности, локальный (с долей извлечения текста 0.50) улучшил NDCG@10 на 0.103 (до 0.657) и Context Recall на 0.166 (до 0.710) относительно векторного.

Это коррелирует с выводами [17] о доминировании локального поиска на multi-hop задачах и подкрепляет гипотезу [2, 3] о пользе явного моделирования связей для multi-hop рассуждений. Возможность локального перемещаться по графу связей, видимо, способствует более эффективному нахождению и агрегации фрагментов для multi-hop запросов, в отличие от векторного, ограниченного поиском ближайших векторных соседей.

Схожим образом, глобальный демонстрирует значимое преимущество над векторным для тематических запросов по оценке Качества (+0.709) и Context Recall (+0.063). Это согласуется с работами [8, 13], характеризующими глобальный поиск как эффективный инструмент для OLAP-запросов или ”sensemaking”, требующих агрегации данных по всему корпусу. Применение агрегированных резюме сообществ [8] в глобальном обеспечивает высокоуровневый контекст для тематических вопросов, чего сложно достичь векторным.

Изучение p для локальных показало компромисс: оптимальное значение 0.50 для NDCG@10 и Context Precision, при монотонном росте Recall (а также Задержки и Стоимости) с увеличением p. Это очерчивает Парето-фронт ”качество-ресурсы”. Это указывает на необходимость оптимизации RAG, что является актуальной темой исследований [23]. Примечательно, что векторная система оказалась доминируемой даже GR-L(0.25) по NDCG@10/Latency, что подчеркивает ограниченную эффективность векторного подхода для комплексных запросов при учете ресурсов. Общий анализ позиционирования систем показал: векторный – самый экономичный, но уступает в качестве на сложных задачах. Глобальный лидирует по качеству тематических ответов, но наиболее ресурсозатратен, что подтверждает данные о стоимости глобального поиска [4].

Локальный предлагает настраиваемый баланс качество/ресурсы. Графовые системы (графовый, глобальный) в целом формируют доминирующий Парето-фронт по качеству для multi-hop и тематических запросов [2]. Наши результаты соответствуют оценке [23], что графовый в среднем требует значительно (~2.8x) больше ресурсов, чем векторный

Практические рекомендации. На основе полученных результатов можно сформулировать следующие рекомендации по выбору архитектуры для задач правовой аналитики. Для систем с ограниченным бюджетом вычислительных ресурсов и преобладанием простых фактологических запросов целесообразно использование базового векторного. Для приложений, требующих обработки сложных multi-hop запросов с синтезом информации из множества связанных фрагментов НПА, рекомендуется GraphRAG с локальным поиском при p(txt)=0.50 как оптимальный компромисс качества и ресурсов. Для аналитических систем, ориентированных на тематические обзоры и обобщения по широким правовым вопросам, оправдано применение GraphRAG с глобальным поиском, несмотря на повышенную ресурсоемкость. При проектировании систем необходимо предусматривать возможность гибридного подхода с выбором метода поиска в зависимости от типа запроса, определяемого автоматически. Настоящее исследование демонстрирует преимущества Microsoft GraphRAG над базовым векторным для корпуса НПА РК. Вместе с тем, следует признать существование более продвинутых графовых архитектур (NodeRAG [11], GFM-RAG [18], RAPTOR [13], PAR RAG [12], ArchRAG [14]), демонстрирующих дальнейшее улучшение различных метрик в англоязычных бенчмарках. Пространство возможных конфигураций систем чрезвычайно обширно, охватывая множество парадигм (наивный, продвинутый, модульный, итеративный, агентный, адаптивный), этапов обработки (индексация, обработка запроса, извлечение, постобработка, генерация) и специфических методов на каждом этапе (например, для обработки запросов: переформулирование, расширение, декомпозиция. Сравнение всех возможных конфигураций выходит за рамки одного исследования.

Этические и практические аспекты применения. Необходимо подчеркнуть, что исполь-

зование таких систем в юридической практике сопряжено с рисками. Несмотря на улучшение показателей точности, графовые и векторные системы не гарантируют полного отсутствия галлюцинаций или ошибочных интерпретаций правовых норм. Применение таких систем должно предусматривать обязательную верификацию результатов квалифицированными юристами, особенно в случаях, влияющих на права и обязанности граждан. Юридическая ответственность за принятие решений на основе рекомендаций LLM-систем остается предметом дискуссии и требует законодательного регулирования.

Разработчики и пользователи подобных систем должны учитывать необходимость обеспечения интерпретируемости результатов и прозрачности процесса принятия решений.

Ограничениями же нашей работы являются: использование корпуса одной юрисдикции; синтетический характер датасета, не отражающий всех реальных сложностей и уязвимостей (например, misleading retrieval [21]); сравнение с ограниченным числом подходов; использование LLM-судьи [13, 24] для оценки качества и отсутствие прямой оценки качества графа [10, 22] или уровня галлюцинаций [5]. Перспективы включают тестирование на реальных запросах, оценку робастности [21, 22], сравнение с более широким спектром архитектур [11, 14, 15, 17, 18], разработку надежных методов оценки [9, 24], изучение методов улучшения графа [10, 19], применение реранжирования [20] и исследование агентных подходов [6, 7] для сложных юридических задач.

Литература

1. Lewis P., Perez E., Piktus A., Petroni F., Karpukhin V., Goyal N., Küttler H., Lewis M., Yih W.t., Rocktäschel T., Riedel S. & Kiela D. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks // arXiv preprint arXiv:2005.11401.-2020. DOI 10.48550/arXiv.2005.11401.

2. Zhang Q., Chen S., Bei Y., Yuan Z., Zhou H., Hong Z., Dong J., Chen H., Chang Y., Huang X. A Survey of Graph Retrieval-Augmented Generation for Customized Large Language Models // arXiv preprint arXiv:2501.13958. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2501.13958.

3. Zhu Z., Huang T., Wang K., Ye J., Chen X. & Luo S. Graph-based Approaches and Functionalities in Retrieval-Augmented Generation: A Comprehensive Survey // arXiv preprint arXiv:2504.10499. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2504.10499.

4. Zhou Y., Su Y., Sun Y., Wang S., Wang T., He R., Zhang Y., Liang S., Liu X., Ma Y. & Fang, Y. In-depth Analysis of Graph-based RAG in a Unified Framework // arXiv preprint arXiv:2503.04338. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2503.04338.

5. Magesh V., Surani F., Dahl M., Suzgun M., Manning C. D. & Ho D. E. Hallucination-Free? Assessing the Reliability of Leading AI Legal Research Tools // arXiv preprint arXiv:2405.20362. -2024. DOI 10.48550/arXiv.2405.20362.

6. Gao Y., Xiong Y., Zhong Y., Bi Y., Xue M. & Wang H. Synergizing RAG and Reasoning: A Systematic Review // arXiv preprint arXiv:2504.15909. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2504.15909.

7. Singh A., Ehtesham A., Kumar S. & Talaei Khoei T. Agentic Retrieval-Augmented Generation: A Survey on Agentic RAG//arXiv preprintarXiv:2501.09136.-2025. DOI 10.48550/arXiv.2501.09136.

8. Edge D., Trinh H., Cheng N., Bradley J., Chao A., Mody A., Truitt S., Metropolitansky D., Ness R. O. & Larson J. From Local to Global: A Graph RAG Approach to Query-Focused Summarization // arXiv preprint arXiv:2404.16130. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2404.16130.

9. Pipitone N. & Houir Alami G. LegalBench-RAG: A Benchmark for Retrieval-Augmented Generation in the Legal Domain//arXiv preprint arXiv:2408.10343.-2024. DOI 10.48550/arXiv.2408.10343.

10. Zhang H., Si J., Yan G., Qi B., Cai P., Mao S., Wang D. & Shi B. RAKG: Document-Level Retrieval Augmented Knowledge Graph Construction // arXiv preprint arXiv:2504.09823. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2504.09823.

11. Xu T., Zheng H., Li C., Chen H., Liu Y., Chen R. & Sun L. NodeRAG: Structuring Graph-based RAG with Heterogeneous Nodes // arXiv preprint arXiv:2504.11544.-2025. DOI 10.48550/arXiv.2504.11544.

12. Zhang N., Zhang C., Tan Z., Yang X., Deng W. & Wang W. Credible Plan-Driven RAG Method for Multi-Hop Question Answering//arXiv preprint arXiv:2504.16787.-2025. DOI 10.48550/arXiv.2504.16787.

13. Cahoon J., Singh P., Litombe N., Larson J., Trinh H., Zhu Y., Mueller A., Psallidas F., Curino C. Optimizing Open-Domain Question Answering with Graph-Based Retrieval Augmented Generation // arXiv preprint arXiv:2503.02922. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2503.02922.

14. Wang S., Fang Y., Zhou Y., Liu X., Ma Y. ArchRAG: Attributed Community-based Hierarchical Retrieval-Augmented Generation//arXiv preprint arXiv:2502.09891.-2025. DOI 10.48550/arXiv.2502.09891.

15. Huang Y., Zhang S. & Xiao X. KET-RAG: A Cost-Efficient Multi-Granular Indexing Framework for Graph-RAG // arXiv preprint arXiv:2502.09304.-2025. DOI 10.48550/arXiv.2502.09304.

16. Yuan X., Liu Y., Di S., Wu S., Zheng L., Meng R., Chen L., Zhou X., Yin J. A Pilot Empirical Study on When and How to Use Knowledge Graphs as Retrieval Augmented Generation // arXiv preprint arXiv:2502.20854. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2502.20854.

17. Han H., Shomer H., Wang Y., Lei Y., Guo K., Hua Z., Long B., Liu H., Tang J. RAG vs. GraphRAG: A Systematic Evaluation and Key Insights // arXiv preprint arXiv:2502.11371. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2502.11371.

18. Luo L., Zhao Z., Haffari G., Phung D., Gong C., Pan S. GFM-RAG: Graph Foundation Model for Retrieval Augmented Generation // arXiv preprint arXiv:2502.01113. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2502.01113.

19. Huang M., Bu C., He Y., Wu X. How to Mitigate Information Loss in Knowledge Graphs for GraphRAG: Leveraging Triple Context Restoration and Query-Driven Feedback//arXiv preprint arXiv:2501.15378. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2501.15378.

20. LeVine W., Varjavand B. Relevance Isn’t All You Need: Scaling RAG Systems With Inference-Time Compute via Multi-Criteria Reranking//arXiv preprint arXiv:2504.07104. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2504.07104.

21. Zeng L., Gupta R., Motwani D., Yang D., Zhang Y. Worse than Zero-shot? A Fact-Checking Dataset for Evaluating the Robustness of RAG Against Misleading Retrievals//arXiv preprint arXiv:2502.16101. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2502.16101.

22. Zhou D., Zhu Y., He Y., Chen J., Kharlamov E., Staab S. Evaluating Knowledge Graph Based Retrieval Augmented Generation Methods Under Knowledge Incompleteness//arXiv preprint arXiv:2504.05163. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2504.05163.

23. Barker M., Bell A., Thomas E., Carr J., Andrews T., Bhatt U. Faster, Cheaper, Better: Multi-Objective Hyperparameter Optimization for LLM and RAG Systems//arXiv preprint arXiv:2502.18635. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2502.18635.

24. Gienapp L., Hagen T., Fröbe M., Hagen M., Stein B., Potthast M., Scells H. The Viability of Crowdsourcing for RAG Evaluation//arXiv preprint arXiv:2504.15689.-2025. DOI 10.48550/arXiv.2504.15689.

25. Lee J., Kwon D., Jin K., Jeong J., Sim M., Kim M. MHTS: Multi-Hop Tree Structure Framework for Generating Difficulty-Controllable QA Datasets for RAG Evaluation//arXiv preprint arXiv:2504.08756. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2504.08756.

26. Gan A., Yu H., Zhang K., Liu Q., Yan W., Huang Z., Tong S. & Hu G. Retrieval Augmented Generation Evaluation in the Era of Large Language Models: A Comprehensive Survey//arXiv preprint arXiv:2504.14891. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2504.14891.

Сведения об авторах

Букенова И.Н. - магистр технических наук, лектор, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: ibukenowa@mail.ru;

Букенов Г.С. - магистр технических наук, лектор, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: gani1212@bk.ru;

Компан С.И. - Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: a.sv21@mail.ru;

Казангапова Б.А. - ассоциированный профессор, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: kbayana@mail.ru.

Information about the authors

Bukenova I. - Master of Technical Sciences, lecturer, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: ibukenowa@mail.ru;

Bukenov G. - Master of Technical Sciences, lecturer, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: gani1212@bk.ru;

Kompan S. - Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: a.sv21@mail.ru;

Kazangapova B. - Associate Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: kbayana@mail.ru.

МРНТИ 28.23.29 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1002**

МОДУЛЬ КАТЕГОРИЗАЦИИ ТОВАРОВ ДЛЯ МАРКЕТПЛЕЙСА: АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Н.С. Глазырина, Р.Р. Бирназаров, Ж.С. Есенгалиева

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Корреспондент-автор: glazirinan@yandex.ru

С развитием электронной коммерции маркетплейсы стали ключевыми платформами для взаимодействия покупателей и продавцов. Ежедневно на них добавляется множество новых товаров, требующих категоризации для эффективного управления ассортиментом, повышения точности поиска товаров и формирования персонализированных рекомендаций. В данном исследовании представлен модуль категоризации товаров, разработанный на Python 3.10.10, который решает задачу категоризации товаров по их текстовому описанию (104 026 товаров, 62 категории). Был проведен комплексный анализ классических алгоритмов (Random Forest, SVM, Logistic Regression, Multinomial Naïve Bayes) и нейросетевых архитектур (RNN, CNN, Transformer), а также ансамблевого подхода (Random Forest + Decision Tree + Logistic Regression). Предобработка данных включала токенизацию, удаление стоп-слов и неалфавитных символов, стемминг и нормализацию текста. Эксперименты на тестовой выборке (20 805 записей) показали, что Random Forest обеспечивает точность 94,2% при времени обработки 74,9 мс, превосходя нейросетевые модели (RNN - 91,6%, Transformer - 90,9%) и ансамбль (94,3% при 75,2 мс). Научная новизна заключается в доказательстве применимости классических алгоритмов машинного обучения (в частности, Random Forest) для задач средней сложности при ограниченных вычислительных ресурсах и в разработке комплексного подхода к выбору оптимальной модели категоризации товаров на маркетплейсе. Результаты демонстрируют, что Random Forest является оптимальным решением для интеграции в реальные системы маркетплейсов, обеспечивая высокую точность без значительного роста вычислительной нагрузки.

Ключевые слова: маркетплейс, категоризация товаров, Random Forest, обработка естественного языка, стемминг, TF-IDF, электронная коммерция.

МАРКЕТПЛЕЙС ҮШІН ӨНІМДЕРДІ САНАТТАУ МОДУЛІ: АЛГОРИТМДЕРДІ ТАЛДАУ ЖӘНЕ ОҢТАЙЛЫ ШЕШІМДІ ТАҢДАУ

Н.С. Глазырина, Р.Р. Бирназаров, Ж.С. Есенгалиева

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail: glazirinan@yandex.ru

Электрондық коммерцияның дамуымен маркетплейстер сатып алушылар мен сатушылар арасындағы өзара әрекеттесудің негізгі платформаларына айналды. Күн сайын оларға көптеген жаңа өнімдер қосылады, олар ассортиментті тиімді басқару, өнімді іздеудің дәлдігін арттыру және жекелендірілген ұсыныстарды жасау үшін санаттауды қажет етеді. Бұл зерттеу Python 3.10.10-да әзірленген өнімді санаттау модулін ұсынады, олардың мәтіндік сипаттамасына негізделген өнімді санаттау мәселесін шешеді (104 026 өнім, 62 санат). Классикалық алгоритмдерге (Random Forest, SVM, Logistic Regression, Multinomial Naïve Bayes), нейрондық желі архитектураларына (RNN, CNN, Transformer), және ансамбльдік тәсілге (Random Forest + Decision Tree + Logistic Regression) кешенді талдау жүргізілді. Деректерді алдын ала өңдеу таңбалауды, токенизациялауды, стоп-сөздер мен әліпбилік емес таңбалар жоюды, стемминг және мәтінді нормализациялауды қамтиды. Сынақ жинағы бойынша эксперименттер (20 805 жазба) Random Forest 74,9 мс өңдеу уақытымен 94,2% дәлдікті қамтамасыз ететінін көрсетті, бұл нейрондық желі үлгілерінен (RNN – 91,6%, Transformer

– 90,9%) және ансамбльден (94,3%, 75,2 мс) асып түседі. Ғылыми жаңалық компьютерлік оқытудың классикалық алгоритмдерін (атап айтқанда, Random Forest) шектеулі есептеу ресурстары жағдайында күрделілігі орташа тапсырмалар үшін қолдану мүмкіндігін дәлелдеуде және нарықта өнімді категориялаудың оңтайлы моделін таңдауға кешенді тәсілді әзірлеуде жатыр. Нәтижелер Random Forest маркетплейс жүйелерге біріктіру үшін оңтайлы шешім екенін көрсетеді, ол есептеу жүктемесін айтарлықтай арттырмай жоғары дәлдікті қамтамасыз етеді.

Түйін сөздер: маркетплейс, өнімді санаттау, Random Forest, табиғи тілді өңдеу, стемминг, TF-IDF, электрондық коммерция.

PRODUCT CATEGORIZATION MODULE FOR MARKETPLACE PLATFORMS: ALGORITHM ANALYSIS AND OPTIMAL SOLUTION SELECTION

N.S. Glazyrina✉, R.R. Birnazarov, Zh.S. Yessengaliyeva

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
e-mail: glazirinan@yandex.ru

With the growth of e-commerce, marketplaces have become key platforms for interaction between buyers and sellers. Every day, a large number of new products are added, requiring categorization to enable efficient assortment management, improve search accuracy, and generate personalized recommendations. This study presents a product categorization module developed in Python 3.10.10, which addresses the task of classifying products based on their textual descriptions (104 026 products, 62 categories). A comprehensive analysis was conducted on classical algorithms (Random Forest, SVM, Logistic Regression, Multinomial Naïve Bayes) and neural network architectures (RNN, CNN, Transformer), as well as an ensemble approach (Random Forest + Decision Tree + Logistic Regression). Data preprocessing included tokenization, removal of stopwords and non-alphabetic characters, stemming, and text normalization. Experiments on a test set (20 805 entries) showed that Random Forest achieved an accuracy of 94.2% with a processing time of 74.9 ms, outperforming neural network models (RNN - 91.6%, Transformer - 90.9%) and the ensemble method (94.3% at 75.2 ms). The scientific novelty lies in proving the applicability of classical machine learning algorithms (in particular, Random Forest) for tasks of medium complexity under conditions of limited computing resources and in developing a comprehensive approach to selecting the optimal product categorization model on a marketplace. The results show that Random Forest is an optimal solution for integration into real-world marketplace systems, providing high accuracy without significant computational overhead.

Keywords: marketplace, product categorization, Random Forest, natural language processing, stemming, TF-IDF, e-commerce.

Введение. Рост ассортимента товаров на маркетплейсах делает традиционные методы ручной категоризации экономически неэффективными [1]. Автоматизация этого процесса необходима для поддержания актуальности каталогов, улучшения навигации, поиска и формирования персонализированных рекомендаций [2].

В контексте реализации Концепции цифровой трансформации, развития отрасли информационно-коммуникационных технологий и кибербезопасности на 2023 - 2029 годы развитие интеллектуальных систем автоматизации торговли приобретает особую значимость. Автоматическая категоризация товарных данных способствует цифровой трансформации отечественных маркетплейсов, снижает издержки и повышает конкурентоспособность электронной коммерции Казахстана [3]. Вопросы разработки и применения интеллектуальных информационных систем в Казахстане также находят отражение в трудах местных исследователей, например, в работах, посвященных анализу и перспективам внедрения AI-решений в цифровой экономике [4, 5].

Актуальность задачи обусловила активное внимание исследователей к разработке методов автоматической категоризации. Так, авторы работы [6] использовали визуальные характеристики набора данных, содержащего 186 150 изображений одежды, для ее категоризации по 52 классам с использованием CNN на основе ResNet34 и модели Seq to Seq (F-score 92% и 90% соответственно). В исследовании [7] система GoldenBullet для автоматической классификации товаров на основе 41 913 записей с использованием SVM, k-NN и Naïve Bayes показала точность 60%, 45% и 78% соответственно. В работе [8] алгоритм GcForest для классификации 4000 товаров по 35 категориям достиг точности 92,38%, превзойдя SVM и CNN. В работе [9] нейросетевая архитектура на эмбеддингах Word2Vec для 445 408 товаров (319 категорий) достигла F1-меры 0,88. Авторы [10], сравнивая XGBoost, SVM, Bi-LSTM, BERT, XLM и XLM-RoBERTa на данных турецких онлайн-гипермаркетов (19 411 товаров), получили наилучшие результаты для Bi-LSTM и BERT (Accuracy 96.6%, F1-score 94.5%). Исследования [11-14] демонстрируют применение различных нейросетевых и ансамблевых методов для категоризации крупных массивов данных, достигая точности от 81% до 91.44%.

Анализ современных работ демонстрирует разнообразие подходов — от классических алгоритмов машинного обучения до сложных нейросетевых архитектур. Однако, как показывают исследования [7-10, 15], выбор оптимального метода зависит не только от максимальной точности, но и от таких практических факторов, как объем данных, вычислительные ресурсы и требования к скорости обработки.

В отличие от рассмотренных работ, фокус нашего исследования направлен на поиск оптимального баланса между точностью категоризации и вычислительной эффективностью для условий ограниченных ресурсов.

Материалы и методы. В разделе приведено описание набора данных, применяемого в экспериментальных исследованиях, этапы предварительной обработки и используемые алгоритмы классификации. На рисунке 1 представлен обобщённый конвейер (pipeline) модуля категоризации товаров, включающий этапы загрузки данных, предобработки текста, векторизации признаков, обучения классификационных моделей и оценки полученных результатов.

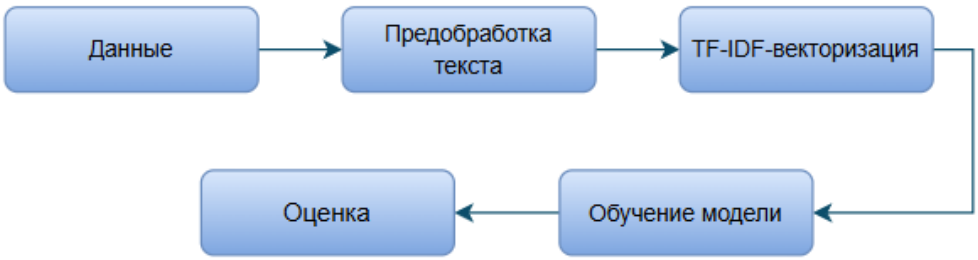


Рис.1 - Обобщенный конвейер (pipeline) модуля категоризации товаров
Источник: разработано автором

Таблица 1 - Фрагмент набора данных

Идентификатор товара	Наименование товара	Идентификатор категории	Наименование категории
31433218	Тормозные колодки YAMAHA OS443/для квадроцикла Yamaha	4066	Колодки для квадроциклов

32115388	Щетка для чистки цепи	4023	Другие автозапчасти для мотоциклов
13534798	Композитная цепь противоскольжения Easy Grip EVO 10, 2 шт.	3629	Антипробуксовочные приспособления

Набор данных. Набор данных включает в себя 104 026 записей и содержит сведения об автотоварах, распределенных по 62 категориям. Из них 83 221 запись будут использована для обучения моделей, а 20 805 — для тестирования. В таблице 1 представлен фрагмент набора данных.

Набор данных включает следующие столбцы: уникальный идентификатор товара; наименование товара; числовой идентификатор категории; наименование категории.

В качестве исходных данных использовались текстовые наименования товаров.

Предварительная обработка текста. Предварительная обработка включает приведение текста к нижнему регистру, удаление стоп-слов, токенизацию, удаление неалфавитных токенов, стемминг и сборку токенов в строку.

Приведение текста к нижнему регистру выполнено с помощью метода lower() для унификации написания (пример: «АВТОМОБИЛЬНОЕ масло Mobil» → «автомобильное масло mobil»).

Для удаления стоп-слов был использован список стоп-слов русского языка из библиотеки NLTK.

Токенизация текста выполнена с помощью word_tokenize() из NLTK (пример: «летние шины michelin pilot sport 4 225/45 r17» → [’ летние’, ’ шины’, ’ michelin’, ’ pilot’, ’ sport’, ’4’, ’225/45’, ’ r17’]).

Для удаления неалфавитных токенов и стоп-слов токены были отфильтрованы по условию: [token for token in tokens if token.isalpha() and token not in russian_stop_words] (пример: [’ моторное’, ’ масло’, ’ mobil’, ’1’, ’5w-30’, ’,’, ’4’, ’ литра’] → [’ моторное’, ’ масло’, ’ mobil’, ’ литра’]).

Таблица 2 - Фрагмент набора данных с полем preprocessed_item_title

Идентификатор товара	**Наименование товара**	**Идентификатор категории**	**Наименование категории**	**Наименование товара после предобработки**
31433218	Тормозные колодки YAMAHA OS443/для квадроцикла Yamaha	4066	Колодки для квадроциклов	тормозн колодк yamaha квадроцикл yamaha
32115388	Щетка для чистки цепи	4023	Другие автозапчасти для мотоциклов	щетк чистк цеп
13534798	Композитная цепь противоскольжения Easy Grip EVO 10, 2 шт.	3629	Антипробуксовочные приспособления	композитн цеп противоскольжен easy grip evo шт

Стемминг преобразование осуществлялось с применением стеммера Snowball для русского языка (пример: «моторное» → «моторн», «летние» → «летн»).

Далее токены объединялись в строку: preprocessed_text = ’ ’.join(tokens).

Пример итогового результата препроцессинга: исходное описание «Автомобильное моторное масло Mobil 1 5W-30, 4 литра» преобразовано в «автомобильн моторн масл mobil литр». После предобработки в набор данных добавлено поле Наименование товара после предобработки (таблица 2).

Алгоритмы классификации. Далее представлены применяемые алгоритмы машинного обучения, которые были протестированы для разработки модуля категоризации товаров на маркетплейсе.

Мультиномиальный наивный Байес (MultinomialNB). Использован с параметрами: alpha=1.0, class_prior=None, fit_prior=True.

Логистическая регрессия (Logistic Regression). Параметры: solver=’ lbfgs’, penalty=’ l2’, C=1.0, max_iter=1000, class_weight=None.

Метод опорных векторов (SVM). Параметры: kernel=’ rbf’, C=1.0, gamma=’ scale’, class_weight=None.

Дерево решений (Decision Tree). Параметры: criterion=’ gini’, max_depth=None, min_samples_leaf=1, min_samples_split=2, max_features=None.

Случайный лес (Random Forest). Параметры: n_estimators=100, criterion=’ gini’, max_depth=None, min_samples_leaf=1, min_samples_split=2, max_features=’ sqrt’, bootstrap=True.

Рекуррентная нейронная сеть (RNN). Архитектура сети представлена в таблице 3. Параметры: VOCAB_SIZE = len(t.word_index) + 1, EMBED_SIZE = 1024, LSTM_UNITS = 64, DENSE_SIZE = 64, Dropout=0.3, EPOCHS=10, BATCH_SIZE=64.

Сверточная нейронная сеть (CNN). Архитектура сети представлена в таблице 4. Параметры: EMBED_SIZE=1024, два слоя Conv1D (128 и 64 фильтров, ядро=3), MaxPooling1D, GlobalMaxPooling1D, DENSE_SIZE=64, Dropout=0.4, EPOCHS=10, BATCH_SIZE=64.

Трансформер (Transformer). Архитектура сети представлена в таблице 5. Параметры: VOCAB_SIZE=20079, EMBED_SIZE=256, NUM_HEADS=4, NUM_LAYERS=3, FF_DIM=64, EPOCHS=10, BATCH_SIZE=64, Dropout=0.3, learning_rate=0.0001.

Таблица 3 - Архитектура RNN

Слой (Тип)	Форма выхода	Параметры
embedding (Embedding)	(None, None, 1024)	20,560,896
lstm (LSTM)	(None, None, 128)	590,336
lstm_1 (LSTM)	(None, None, 128)	131,584
global_max_pooling1d (GlobalMaxPooling1D)	(None, 128)	0
dense (Dense)	(None, 64)	8,256
dropout (Dropout)	(None, 64)	0
dense_1 (Dense)	(None, 62)	4,03

Таблица 4 - Архитектура CNN

Слой (Тип)	Форма выхода	Параметры
embedding_2 (Embedding)	(None, None, 1024)	20560896
conv1d_2 (Conv1D)	(None, None, 128)	393344

max_pooling1d_2 (MaxPooling1D)	(None, None, 128)	0
conv1d_3 (Conv1D)	(None, None, 64)	24640
max_pooling1d_3 (MaxPooling1D)	(None, None, 64)	0
global_max_pooling1d_2 (GlobalMaxPooling1D)	(None, 64)	0
dense_4 (Dense)	(None, 64)	4160
dropout_2 (Dropout)	(None, 64)	0
dense_5 (Dense)	(None, 62)	4030

Таблица 5 - Архитектура трансформера

Слой (Тип)	**Форма выхода**	**Параметры**	**Слой (Тип)**
input_layer (InputLayer)	(None, None)	0	-
embedding (Embedding)	(None, None, 128)	2,570,112	input_layer[0][0]
multi_head_attention (MultiHeadAttention)	(None, None, 128)	66,048	embedding[0][0], embedding[0][0]
add (Add)	(None, None, 128)	0	embedding[0][0], multi_head_attention[0][0]
layer_normalization (LayerNormalization)	(None, None, 128)	256	add[0][0]
dropout_1 (Dropout)	(None, None, 128)	0	layer_normalization[0][0]
sequential (Sequential)	(None, None, 128)	16,576	dropout_1[0][0]
add_1 (Add)	(None, None, 128)	0	dropout_1[0][0], sequential[0][0]
layer_normalization_1 (LayerNormalization)	(None, None, 128)	256	add_1[0][0]
multi_head_attention_1 (MultiHeadAttention)	(None, None, 128)	66,048	layer_normalization_1[0][0], layer_normalization_1[0][0]
add_2 (Add)	(None, None, 128)	0	layer_normalization_1[0][0], multi_head_attention_1[0][0]
layer_normalization_2 (LayerNormalization)	(None, None, 128)	256	add_2[0][0]
dropout_4 (Dropout)	(None, None, 128)	0	layer_normalization_2[0][0]
sequential_1 (Sequential)	(None, None, 128)	16,576	dropout_4[0][0]
add_3 (Add)	(None, None, 128)	0	dropout_4[0][0], sequential_1[0][0]
layer_normalization_3 (LayerNormalization)	(None, None, 128)	256	add_3[0][0]
global_average_pooling1d (GlobalAveragePooling1D)	(None, 128)	0	layer_normalization_3[0][0]
dense_4 (Dense)	(None, 62)	7,998	global_average_pooling1d[0][0]

Обсуждение и результаты. Для выбора оптимального алгоритма были проведены экспериментальные исследования на наборе данных, содержащего 104 026 записей о товарах (83 221 - обучение, 20 805 - тест). Тестовая выборка репрезентативна, сохраняя пропорциональное распределение классов. Для оценки качества моделей использовались метрики: время работы (Время, мс), Общая точность (Accuracy), Точность предсказания (Precision), Полнота (Recall) и F1-мера (F1-score). Результаты сравнения моделей приведены в таблице 6.

Таблица 6 - Значения метрик классификационных моделей

	Время, мс	Общая точность	Точность предсказания	Полнота	F1-мера
Мультиномиальный наивный Байес	0,76	0,820	0,858	0,820	0,787
Логистическая регрессия	3,819	0,905	0,912	0,905	0,895
Метод опорных векторов	3219	0,942	0,944	0,942	0,937
Дерево решений	1,921	0,916	0,925	0,916	0,911
Случайный лес	74,9	0,942	0,948	0,942	0,936
Рекуррентная нейронная сеть	35,38	0,916	0,923	0,916	0,912
Сверточная нейронная сеть	40,43	0,904	0,915	0,904	0,899
Трансформер	101,08	0,909	0,915	0,909	0,904

Таблица 7 - Значения метрик ансамбля классификационных моделей

	Время, мс	Общая точность	Точность предсказания	Полнота	F1-мера
Ансамбль	75,244	0,943	0,949	0,943	0,937

Алгоритм мультиномиальный наивный Байес (MultinomialNB) показывает приемлемое время обработки (0,76 мс), но уступает другим моделям по Accuracy (0,820), Precision (0,858), Recall (0,820) и F1-score (0,787). Модели логистической регрессии и дерева решений демонстрируют высокую скорость обработки (3,819 мс и 1,921 мс соответственно), но по качественным метрикам уступают модели случайного леса (Accuracy 0,905 и 0,916 против 0,942). Нейросетевые модели и Transformer показывают сопоставимые результаты по Accuracy (0,904 и 0,909), но время работы Transformer выше (101,08 мс против 40,43 мс у CNN). Модель RNN показывает хороший баланс (Accuracy 0,916, время 35,38 мс), но также уступает Random Forest.

Алгоритм случайного леса (Random Forest) демонстрирует наилучшие результаты среди рассмотренных моделей по основным метрикам: Accuracy — 0,942, Precision — 0,948, Recall — 0,942 и F1-score — 0,936. При этом время выполнения составляет 74,955 мс, что остается приемлемым с учетом высокой точности классификации.

Для решения задачи категоризации был также построен ансамбль (ENS), объединяющий Дерево решений, Случайный лес и Логистическую регрессию. Итоговый класс определялся на основе голосования. Итоговые метрики ансамбля приведены в таблице 7.

Ансамбль (ENS) продемонстрировал Accuracy 0,943 и F1-score 0,937, тогда как модель Random Forest показала 0,942 и 0,936 соответственно. Разница составила всего 0,001 по обеим метрикам, но время работы ансамбля (75,244 мс) оказалось чуть выше, чем у Random Forest (74,955 мс).

Анализ параметрической чувствительности. Было исследовано влияние ключевых гиперпараметров на эффективность алгоритма Random Forest. На точность классификации существенное влияние оказывают n_estimators (количество деревьев) и max_depth (максимальная глубина деревьев). Увеличение n_estimators до 100 привело к значительному росту точности и стабильности модели, тогда как дальнейшее увеличение дало незначительный прирост (<0.1%) при существенном росте вычислительных затрат. Таким образом, значение n_estimators=100 было признано оптимальным. Полное отсутствие ограничения глубины (max_depth=None) обеспечило максимальную точность, что связано с большим объемом обучающих данных и высокой размерностью признакового пространства после TF-IDF. Для меньших датасетов или в условиях жестких ограничений по времени рекомендуется ограничивать глубину деревьев.

Для модели SVM увеличение параметра регуляризации C с 1.0 до 5.0 повышало точность на 0,3-0,5%, однако сопровождалось ростом времени обучения почти в 4 раза, что ограничивает целесообразность дальнейшего увеличения данного параметра.

Для нейросетевых моделей увеличение количества эпох обучения сверх 10 не приводило к существенному улучшению качества на валидационной выборке, а в некоторых случаях наблюдались признаки переобучения, что подтверждает адекватность выбранного количества эпох.

Сравнительный анализ показал, что среди всех протестированных моделей наилучшие результаты продемонстрировал алгоритм Random Forest с Accuracy 94,2% и F1-score 0,936 при времени обработки 74,9 мс. Он лишь незначительно уступает ансамблю моделей (F1-score 0,937), однако обеспечивает более низкую вычислительную нагрузку. Таким образом, Random Forest обеспечивает оптимальное соотношение точности и эффективности для поставленной задачи.

Для наглядной оценки качества классификации построена матрица ошибок (Confusion Matrix) для модели Random Forest, представленная на рисунке 2.

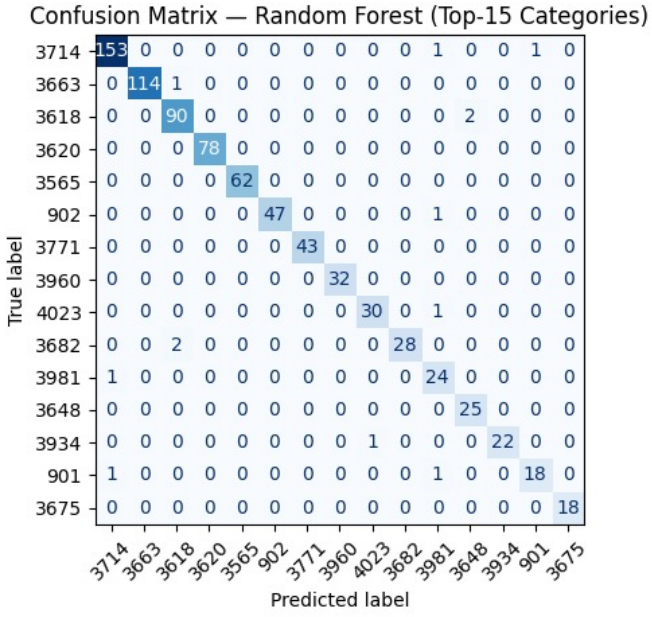


Рис.2 - Матрица ошибок модели Random Forest

Визуализация выполнена для первых 15 категорий. Матрица ошибок показывает, что большинство товаров корректно классифицируются в пределах своих категорий, тогда как наибольшее количество ошибок наблюдается при распознавании схожих по семантике наименований. Полученные результаты подтверждают, что модель Random Forest обеспечивает оптимальное соотношение точности и вычислительной эффективности.

Выводы. В исследовании проведён сравнительный анализ алгоритмов машинного обучения, применимых для решения задачи автоматической категоризации товаров на маркетплейсах. Были протестированы как классические модели (Random Forest, SVM, Logistic Regression, Multinomial Naïve Bayes), так и нейросетевые архитектуры (RNN, CNN, Transformer), а также ансамблевый метод. Результаты экспериментов показали, что алгоритм Random Forest демонстрирует оптимальный баланс между точностью классификации (94,24%) и временем обработки (74,9 мс), превосходя по этим показателям нейросетевые модели. Ансамблевый подход обеспечил лишь незначительное улучшение точности, однако это сопровождалось увеличением времени обработки.

В качестве основного решения для реализации модуля категоризации товаров на маркетплейсе был выбран алгоритм Random Forest. Разработанный модуль предусматривает возможность переключения между различными моделями классификации, включая ансамбль, что обеспечивает гибкость настройки в зависимости от требований к точности и скорости.

Практическая значимость исследования заключается в возможности интеграции предложенного модуля в реальные платформы электронной коммерции.

Научная новизна заключается в доказательстве применимости классических алгоритмов машинного обучения (в частности, Random Forest) для задач средней сложности при ограниченных вычислительных ресурсах и в разработке комплексного подхода к выбору оптимальной модели категоризации товаров на маркетплейсе.

Перспективы дальнейших исследований включают расширение набора данных за счёт мультиязычных текстов, применение мультимодальных моделей, объединяющих текстовую и визуальную информацию, а также тестирование предложенного модуля на реальных маркетплейсах Казахстана (например, Kaspi.kz и Lamoda.kz).

Литература

1. Akritidis L., Fevgas A., Bozanis P. Effective products categorization with importance scores and morphological analysis of the titles //2018 IEEE 30th international conference on tools with artificial intelligence (ICTAI). -2018. -P.213-220. DOI 10.1109/ICTAI.2018.00041.

2. Dai J., Wang T., Wang S. A deep forest method for classifying e-commerce products by using title information //2020 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC): Cloud Computing and Big Data. -2020. -P.440-444. DOI 10.1109/ICNC47757.2020.9049751.

3. Концепция цифровой трансформации, развития отрасли информационно-коммуникационных технологий и кибербезопасности на 2023 - 2029 годы, https://zakon.uchet.kz/rus/docs/P2300000269. -Дата обращения: 16.03.2025.

4. Маленко К., Курманалина А. Цифровизация экономики: рынок электронной коммерции в Казахстане// Вестник НАН РК. -2024. -Т.409(3). -С.388–405. DOI 10.32014/2024.2518-1467.775.

5. Andarova R., Nurzhan M., & Yespolova Z. E-commerce: current situation, problems and prospects of development in Kazakhstan // Buketov business review. -2022. -Vol.106(2). -P.197-205. DOI 10.31489/2022ec2/197-205.

6. Umaashankar V., Shanmugam S G., Prakash A. Atlas: A dataset and benchmark for e-commerce clothing product categorization//arXiv preprint arXiv:1908.08984. -2019. DOI 10.48550/arXiv.1908.08984.

7. Ding Y., Korotkiy M., Omelayenko B., Kartseva V., Zykov V., Klein M., Schulten E., Fensel D. Goldenbullet: Automated classification of product data in e-commerce//Business Information Systems, Proceedings of BIS 2002. -2002.

8. Kozareva, Z. Everyone likes shopping! multi-class product categorization for e-commerce //Proceedings of the 2015 Conference of the North Ameri can Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies. -2015. - P.1329-1333. DOI 10.3115/v1/N15-1147.

9. Ozyegen O., Jahanshahi H., Cevik M., Bulut B., Yigit D., Gonen F. F., Başar A. Classifying multi-level product categories using dynamic masking and transformer models//Journal of Data, Information and Management. -2022. -Vol.4. -P.71-85. DOI 10.1007/s42488-022-00066-6.

10. Ha J. W., Pyo H., Kim J. Large-scale item categorization in e-commerce using multiple recurrent neural networks //Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. -2016. -P.107 - 115. DOI 10.1145/2939672.2939678.

11. Cevahir A., Murakami K. Large-scale Multi-class and Hierarchical Product Categorization for an E-commerce Giant // Proceedings of COLING 2016, the 26th International Conference on Computational Linguistics: Technical Papers -2016. -P.525-535.

12. Drumm K. Categorising Products in an Online Marketplace: An Ensemble Approach //arXiv preprint arXiv:2304.13852. -2023. DOI 10.48550/arXiv.2304.13852.

13. Shiokawa H., Das P., Toth A., Chiu J. Multi-output Headed Ensembles for Product Item Classification //arXiv preprint arXiv:2307.15858. -2023. DOI 10.48550/arXiv.2307.15858.

14. Zahavy T., Krishnan A., Magnani A., Mannor S. Is a Picture Worth a Thousand Words? A Deep Multi-Modal Architecture for Product Classification in E-Commerce //Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. -2018. -Vol.32(1). -P.7873-7880. DOI 10.1609/aaai.v32i1.11419.

15. Bi Y., Wang S., Fan Z. A multimodal late fusion model for e-commerce product classification //arXiv preprint arXiv:2008.06179. -2020. DOI 10.48550/arXiv.2008.06179.

References

1. Akritidis L., Fevgas A., Bozanis P. Effective products categorization with importance scores and morphological analysis of the titles //2018 IEEE 30th international conference on tools with artificial intelligence (ICTAI). -2018. -P.213-220. DOI 10.1109/ICTAI.2018.00041.

2. Dai J., Wang T., Wang S. A deep forest method for classifying e-commerce products by using title information //2020 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC): Cloud Computing and Big Data. -2020. -P.440-444. DOI 10.1109/ICNC47757.2020.9049751.

3. Koncepcija cifrovoj transformacii, razvitija otrasli informacionno-kommunikacionnyh tehnologij i kiberbezopasnosti na 2023 - 2029 gody, https://zakon.uchet.kz/rus/docs/P2300000269. -Data obrashhenija: 16.03.2025.[In Russian]

4. Malenko K., Kurmanalina A. Cifrovizacija jekonomiki: rynok jelektronnoj kommercii v Kazahstane// Vestnik NAN RK. -2024. -T.409(3). -S.388–405. DOI 10.32014/2024.2518-1467.775. [In Russian]

5. Andarova R., Nurzhan M., & Yespolova Z. E-commerce: current situation, problems and prospects of development in Kazakhstan // Buketov business review. -2022. -Vol.106(2). -P.197-205. DOI

10.31489/2022ec2/197-205.

6. Umaashankar V., Shanmugam S G., Prakash A. Atlas: A dataset and benchmark for e-commerce clothing product categorization//arXiv preprint arXiv:1908.08984. -2019. DOI 10.48550/arXiv.1908.08984.

7. Ding Y., Korotkiy M., Omelayenko B., Kartseva V., Zykov V., Klein M., Schulten E., Fensel D. Goldenbullet: Automated classification of product data in e-commerce//Business Information Systems, Proceedings of BIS 2002. -2002.

8. Kozareva, Z. Everyone likes shopping! multi-class product categorization for e-commerce //Proceedings of the 2015 Conference of the North Ameri can Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies. -2015. - P.1329-1333. DOI 10.3115/v1/N15-1147.

9. Ozyegen O., Jahanshahi H., Cevik M., Bulut B., Yigit D., Gonen F. F., Başar A. Classifying multi-level product categories using dynamic masking and transformer models//Journal of Data, Information and Management. -2022. -Vol.4. -P.71-85. DOI 10.1007/s42488-022-00066-6.

10. Ha J. W., Pyo H., Kim J. Large-scale item categorization in e-commerce using multiple recurrent neural networks //Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. -2016. -P.107 - 115. DOI 10.1145/2939672.2939678.

11. Cevahir A., Murakami K. Large-scale Multi-class and Hierarchical Product Categorization for an E-commerce Giant // Proceedings of COLING 2016, the 26th International Conference on Computational Linguistics: Technical Papers -2016. -P.525-535.

12. Drumm K. Categorising Products in an Online Marketplace: An Ensemble Approach //arXiv preprint arXiv:2304.13852. -2023. DOI 10.48550/arXiv.2304.13852.

13. Shiokawa H., Das P., Toth A., Chiu J. Multi-output Headed Ensembles for Product Item Classification //arXiv preprint arXiv:2307.15858. -2023. DOI 10.48550/arXiv.2307.15858.

14. Zahavy T., Krishnan A., Magnani A., Mannor S. Is a Picture Worth a Thousand Words? A Deep Multi-Modal Architecture for Product Classification in E-Commerce //Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. -2018. -Vol.32(1). -P.7873-7880. DOI 10.1609/aaai.v32i1.11419.

15. Bi Y., Wang S., Fan Z. A multimodal late fusion model for e-commerce product classification //arXiv preprint arXiv:2008.06179. -2020. DOI 10.48550/arXiv.2008.06179.

Сведения об авторах

Глазырина Н.С. - доктор PhD, доцент, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: glazirinan@yandex.ru;

Бирназаров Р.Р. - магистрант, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: ramazanbirnazarov@gmail.com;

Есенгалиева Ж.С. - доктор PhD, доцент, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: jannayess@gmail.com.

Information about the authors

Glazyrina N.S. - PhD, associate professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: glazirinan@yandex.ru;

Birnazarov R.R. - master' s student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: ramazanbirnazarov@gmail.com;

Yessengaliyeva Zh.S. - PhD, associate professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: jannayess@gmail.com.

МРНТИ 50.43.17; 68.29.15 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1215**

НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

[1]А. Алтыбаев, [1]С. Жұмағали, [1]Е. Конысбаев, [1]Б. Бекмухамедов, [2]К. Акишев

[1]ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», Алматы, Казахстан,
[2]Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан

Корреспондент-автор: aktmail04cx@mail.ru

По данным из открытых источников за 2023год, площадь внедрения элементов точного земледелия в Казахстане, превысила 3 млн га, тем не менее возможность, оценивается более чем в 20 млн га.

В этой связи актуальность разработки научно-методических основ, обеспечивающих применение цифровых решений точного земледелия достаточно высока.

В настоящей статье представлены и обоснованы принципы функционирования автоматизированной системы дифференцированного дозирования сыпучих материалов (АСДДСП). Разработан и апробирован алгоритм расчёта управляющей информации (УИ) на входе исполнительного механизма дозатора, который служит теоретической основой программного обеспечения точности и оперативности дифференцированного внесения удобрений, позволяющий достичь повышения точности внесения удобрений до 10–15%, а также сокращение их перерасхода на 12-18% по сравнению с традиционными методами.

Теоретическая значимость исследования заключается в создании основы методически корректного математического обеспечения вычислительных экспериментов.

Практическая значимость исследований, подтверждается результатами эксплуатационно-технологических тестов на базе Казахского научно-исследовательского института земледелия и растениеводства (КазНИИЗиР), показавшими достаточно высокие результаты работы АСДДСП с ростом производительности операций до 8–10%.

Научная новизна исследования заключена в методологической основе разработки алгоритма определения управляющей (командной) информации для оперативного управления исполнительным механизмом дозатора сыпучих материалов.

Полученные результаты, подтверждают высокий уровень эффективности выполнения работ мобильными агрегатами в пространственно-временных координатах, а также могут использоваться при проектировании и модернизации сельскохозяйственных агрегатов, в образовательных программах по цифровой агроинженерии.

Разработанные научно-методологические основы исследования создают предпосылки повышения эффективности, устойчивости сельского хозяйства, ресурсосбережения, а также снижения себестоимости сельскохозяйственной продукции, повышения конкурентоспособности аграрного сектора Республики Казахстан.

Ключевые слова: цифровая трансформация, автоматизированная система, алгоритм, управляющая информация, модель, блок схема, земледелие.

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL BASES OF DIGITAL TRANSFORMATION IN THE PRECISION AGRICULTURE SYSTEM

[1]A. Altybayev, [1]C. Zhumagali, [1]E. Konysbayev, [1]B. Bekmukhamedov, [2]K. Akishev

[1]Scientific and Production Centre for Agricultural Engineering LLP, Almaty, Kazakhstan,
[2]Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhanov, Astana, Kazakhstan,

e-mail: akmail04cx@mail.ru

According to open source data for 2023, the area of introduction of precision farming elements in Kazakhstan has exceeded 3 million hectares, however, the possibility is estimated at more than 20 million hectares.

In this regard, the relevance of developing scientific and methodological foundations for the application of digital precision farming solutions is quite high.

This article presents and substantiates the principles of functioning of the automated system of differentiated dosing of bulk materials (ASDDSP). An algorithm for calculating the control information (CI) at the input of the dispenser actuator has been developed and tested, which serves as the theoretical basis for software for the accuracy and efficiency of differentiated fertilizer application, allowing for an increase in the accuracy of fertilizer application to 10-15%, as well as reducing their overspending by 12-18% compared with traditional methods.

The theoretical significance of the research lies in creating the basis for methodically correct mathematical support for computational experiments.

The practical significance of the research is confirmed by the results of operational and technological tests on the basis of the Kazakh Scientific Research Institute of Agriculture and Horticulture (KazNIIZiR), which showed fairly high results of ASDDSP with an increase in the productivity of operations up to 8-10%.

The scientific novelty of the research lies in the methodological basis for the development of an algorithm for determining the control (command) information for the operational control of the actuator of the dispenser of bulk materials.

The results obtained confirm the high level of efficiency of work performed by mobile units in space-time coordinates, and can also be used in the design and modernization of agricultural units, in educational programs on digital agroengineering.

The developed scientific and methodological foundations of the research create prerequisites for increasing the efficiency, sustainability of agriculture, resource conservation, as well as reducing the cost of agricultural products, increasing the competitiveness of the agricultural sector of the Republic of Kazakhstan.

Keywords: digital transformation, automated system, algorithm, control information, model, flowchart, agriculture.

ҒЫЛЫМИ-ӘДІСТЕМЕЛІК НЕГІЗДЕРІ ДӘЛ ЕГІНШІЛІК ЖҮЙЕСІНДЕГІ ӨЗГЕРІСТЕР

[1]А. Алтыбаев, [1]С. Жұмағали, [1]Е. Қонысбаев, [1]Б. Бекмұхамедов, [2]К. Акишев

[1]"Агроинженерия ғылыми-өндірістік орталығы" ЖШС, Алматы, Қазақстан,
[2]Қазақ технология және бизнес университеті. Қ. Құлажанова, Астана, Қазақстан,
e-mail: akmail04cx@mail.ru

2023 жылы ашық көздерден алынған мәліметтерге сәйкес, Қазақстанда нақты егіншілік элементтерін енгізу көлемі 3 млн гектардан асты, алайда бұл мүмкіндік 20 млн гектардан асады деп бағалануда.

Осыған байланысты дәл егіншіліктің цифрлық шешімдерін қолдануды қамтамасыз ететін ғылыми-әдістемелік негіздерді әзірлеудің өзектілігі өте жоғары.

Осы бапта Сусымалы материалдарды сараланған мөлшерлеудің автоматтандырылған жүйесінің (АСДДСП) жұмыс істеу қағидаттары ұсынылған және негізделген. Тыңайтқыштарды қолдану дәлдігін 10-15% - ға дейін арттыруға, сондай-ақ олардың артық шығынын дәстүрлі әдістермен салыстырғанда 12-18% - ға қысқартуға қол жеткізуге мүмкіндік беретін дифференциалды тыңайтқы-

штарды қолданудың дәлдігі мен жеделдігін бағдарламалық қамтамасыз етудің теориялық негізі ретінде қызмет ететін диспенсердің атқарушы механизмінің кірісінде басқару ақпаратын (УИ) есептеу алгоритмі әзірленді және сыналды.

Зерттеудің теориялық маңыздылығы есептеу эксперименттерін әдістемелік тұрғыдан дұрыс математикалық қамтамасыз етудің негізін құру болып табылады.

Зерттеулердің практикалық маңыздылығы операциялар өнімділігінің 8-10%-ға дейін өсуімен АСДДСП жұмысының жеткілікті жоғары нәтижелерін көрсеткен Қазақ егіншілік және Өсімдік шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты(Қазғзии) базасындағы пайдалану-технологиялық сынақтардың нәтижелерімен расталады.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы сусымалы материалдар диспенсерінің атқарушы механизмін жедел басқару үшін басқарушы (командалық) ақпаратты анықтау алгоритмін әзірлеудің әдіснамалық негізіне негізделген.

Алынған нәтижелер кеңістіктік-уақыттық координаттарда МБ агрегаттарының жұмыстарды орындау тиімділігінің жоғары деңгейін растайды, сондай-ақ ауыл шаруашылығы агрегаттарын жобалау және жаңғырту кезінде, цифрлық агроинженерия бойынша білім беру бағдарламаларында пайдалануға болады.

Зерттеудің әзірленген ғылыми-әдіснамалық негіздері ауыл шаруашылығының тиімділігін, орнықтылығын арттыру, ресурс үнемдеу, сондай-ақ ауыл шаруашылығы өнімінің өзіндік құнын төмендету, Қазақстан Республикасының аграрлық секторының бәсекеге қабілеттілігін арттыру үшін алғышарттар жасайды.

Түйін сөздер: сандық түрлендіру, автоматтандырылған жүйе, алгоритм, басқару ақпараты, моделі, блок-схемасы, егіншілік.

Введение. Современная парадигма инновационного развития сельскохозяйственного производства сопряжена с широким применением информационно-цифровых технологий, электроники, автоматизированных систем. Интеллектуальной основой для этого служат фундаментальные инновационные решения в других сферах и отраслях, которые также успешно используются и в сельском хозяйстве. Принято, что современная инновационная основа сельскохозяйственного производства базируется на системы точного земледелия работы [1-4]. Анализ возникновения и развития системы точного земледелия представленный в работах [5-8] позволяет сформулировать следующую ее сущность, имеющую практическое значения для реальных производственных процессов производства полевых работ: точное земледелие - это совокупность относительно самостоятельных технологий (технологии GPS и GIS, точного картографирования полей и др.), необходимость внедрения которых определяется имеющимися ресурсами конкретного производства, а также научно-техническим потенциалом на данном этапе производственных отношений. В то же время, следует понять, что по существу принципы точного земледелия в большей степени направлены на совершенствование процессов управления на всех уровнях производства полевых механизированных работ в сельском хозяйстве. При этом сами производственно-технологические, т.е. рабочие процессы, во многом не претерпевают изменений принципиального порядка. Из обзора и анализа работ отечественных и зарубежных авторов представленных в публикациях [9,10] следует, что исследования, направленные на внедрение цифровых технологий в реальные процессы производства полевых работ, ведутся фрагментарно, исходя из частных физических эффектов, ориентируясь на промежуточные результаты, не связанные требованиями оптимальности функционирования технологических систем в целом. В основном преобладают конструктивно-технические решения, а вопросы оперативного

управления технологическими процессами в течение рабочей смены не доведены до эксплуатационного статуса.

В этой связи наибольшую актуальность приобретают вопросы, касающиеся оперативного управления состоянием технологической работоспособности рабочих органов и исполнительных механизмов рабочих машин мобильных агрегатов сельскохозяйственного назначения обеспечивающих возможности для точного земледелия.

Цель исследования – установить влияние внутренних и внешних факторов технологической системы внесения минеральных удобрений на величину управляющей информации работой исполнительного механизма дозирующего устройства машинно-тракторного агрегата.

Объектом исследования являются процессы взаимодействия конструктивных параметров посевных агрегатов и технологических режимов их работы с эксплуатационно-технологическими показателями выполнения работы.

Новизна исследования заключена в методологической основе разработки алгоритма определения управляющей (командной) информации для оперативного управления исполнительным механизмом дозатора сыпучих материалов.

Практическая значимость исследования связана тем, что результаты служат методико-аналитическим инструментарием для инженерных расчетов при проектировании технологических операций (процессов) производства полевых механизированных в условиях глобальной цифровой трансформации отраслей сельского хозяйства.

Материалы и методы. Методологической основой исследования является комплекс современных научных подходов и инструментов, принципы системного подхода и аппарат системного анализа-это позволило рассматривать процессы цифровой трансформации в сельском хозяйстве, как взаимосвязь технических, технологических и организационных компонентов.

При этом обеспечивалась интеграция цифровых решений с агротехническими требованиями и нормативами.

В исследовании использовались методы теоретической и прикладной информатики, в виде алгоритмов и моделей, методы статистического анализа больших массивов данных, позволившее выявить закономерности изменения параметров технологических процессов.

Динамическое моделирование выполнялось с использованием инструментов имитационного моделирования, с реальными сценариями функционирования систем дифференцированного внесения удобрений.

В качестве исходных материалов, использованы информационные ресурсы, инженерно-технологического обеспечения сельскохозяйственного производства, базы данных состава почв, справочные нормативы и технические характеристики агромашин.

Представленные данные обеспечили проектирование, верификацию, а также экспериментальную апробацию технологических операций по внесению удобрений.

Обсуждение и результаты. В системе точного земледелия дифференцированное внесение удобрений осуществляется двумя основными способами: внесение в режиме on-line (режим реального времени) и внесение в режиме off-line (с предварительно подготовленной картой поля).

Первый вариант (on-line) подразумевает выполнение расчетов непосредственно в процессе внесения удобрений. Для этого используются датчики-спектрометры, установленные на беспилотник или трактор.

Второй способ (off-line) предполагает заблаговременный расчет норм внесения удобрений по каждой выделенной на поле зоне, техника работает в запрограммированном режиме. С позиции проектирования автоматизированной системы управления технологическими процессами off-line режим относится к автоматизированной системе без обратной связи.

Обобщенная картина цифровой трансформации производства полевых механизированных

работ в растениеводстве в рамках концепции точного земледелия, применительно к мобильным агрегатам дифференцированного внесения удобрений, представлена на рис.1, на котором представлены 2 группы моделей - функциональную и процедурную.

Функциональная модель, отражает физическое содержание архитектуры автоматизированной системы управления технологическими процессами, включает в себе все физические объекты, которые непосредственно участвуют в сфере управления, взаимосвязанная совокупность которых составляет данную техническую систему, целевое предназначение которой направлено на реализацию дифференцированного внесения удобрений в соответствии с требованиями агротехнологий.

К ним относятся: программно-аппаратным комплекс (ПАК), мобильный агрегат (серийно выпускаемый промышленностью) для внесения удобрений, оборудование для реализации автоматизированного управления исполнительными механизмами дозированной подачи удобрений агрегатом в условиях оперативного времени выполнения технологической операции внесения удобрений.

Процедурные модели описывают операционные характеристики системы, т.е. описывают порядок действий по управлению работой технологической операции в целом. При автоматизации производства особый интерес представляют информационные процедурные модели, а также модели режимов и обеспечения безопасности работы.

Работа процедурной модели автоматизированной системы дифференцированного внесения удобрений (АСДВУ) начинается с загрузки координатно-привязанного космического снимка требуемой территории с использованием программы (например, SASPlanet).

Следующий шаг, создание карты-задания.

Карта-задание создается на основе точек замера проб агрохимического состояния почвы, методами аппроксимации (Делоне, Вороного и др.) и созданием изолиний – границ доз внесения удобрений.

Блок-схема создания карты-задания, представляет собой относительно самостоятельную процедуру (В).

Далее формируется карта (блок-схема Б) с векторным слоем геометрических размеров поля с учетом неоднородностей, учитываются рельефные особенности, водные и лесные объекты.

Данная карта может быть получена полуавтоматически путем классификации поля с присутствующими неоднородностями, или же может быть создана вручную с использованием разработанного графического редактора.

Разработанный программный модуль, автоматически создает векторную карту движения агрегата с учетом ширины сеялки и радиусов разворота агрегата.

Программный модуль, также имеет возможность оптимизировать трассы движения агрегата, как внутри поля (для сокращения трасс холостых проходов), так и во время движения к полю.

Процедуры 4, 5, 6 оценивают координаты агрегата относительно координат поля, требующего внесение удобрений. Если агрегат попадает на территорию поля, где есть необходимость внесения удобрения, то посылается сигнал сеялке – вносить удобрения с дозой, согласно карте-заданию.

Процедура 7 обеспечивает реализацию исполнительным органом управляющей информации «внести удобрения» согласно карте-заданию.

Процедуры 8, 9 реализуют формирование выходного отчета о внесении удобрений, и результаты записываются в БД.

Для проектирования автоматизированной системы оперативного управления исполнительными механизмами без обратной связи [11 - 13] наибольший интерес представляет установление функциональной связи выходных переменных с входными переменными, которые формируют командную информацию, обеспечивающую точность и своевременность выполнения технологической операции. При этом необходимо сформулировать математическую модель физического процесса.

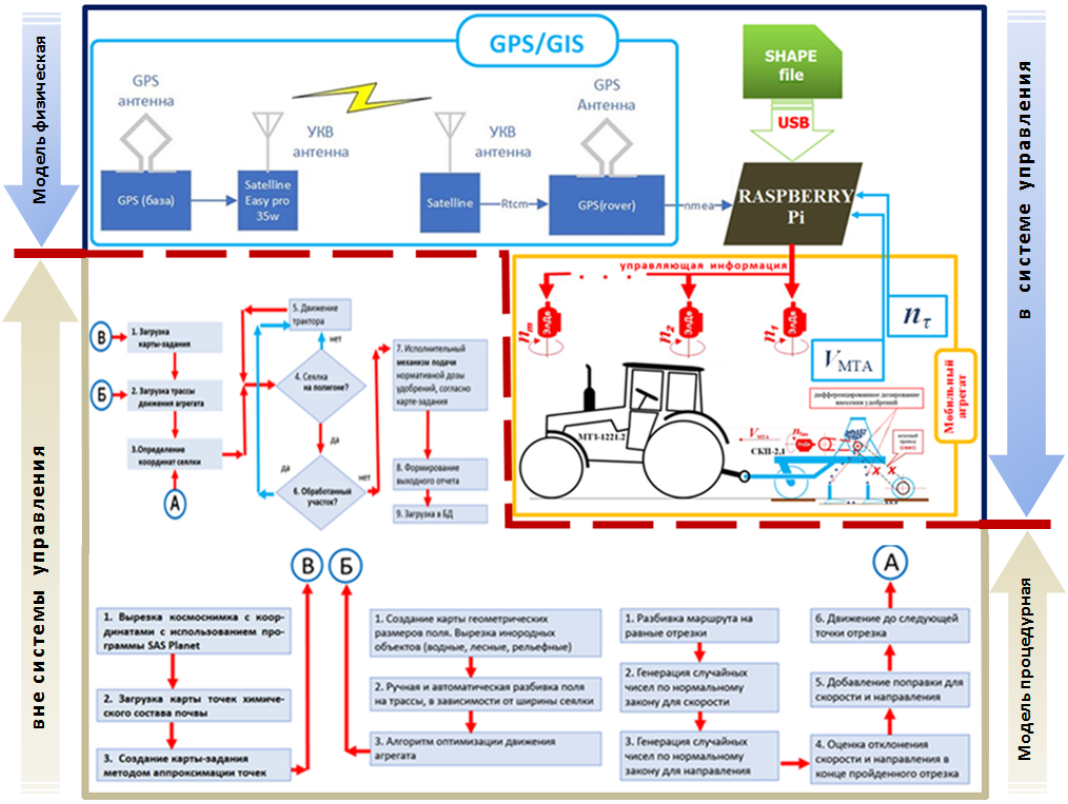


Рис. 1 - Обобщенная картина цифровой трансформации

Для установления аналитических выражений элементов функционирования технологической системы внесения (посева) воспользуемся абстрактным представлением высевающего механизма (дозатора) и схемой механизированного (машинного) выполнения данной технологической операции (рис.2).

При этом искомую модель можно сформулировать исходя из геометрических соотношений, первичных физических величин.

За один оборот вала высевающего аппарата объем дозирования определяется исходя из конструктивно-технических параметров высевающего механизма, т.е. дозатора (рис.2 *б*) формула 1:

$$V_{об} = z \cdot V_{доз},\ м^3/об \qquad (1)$$

где $V_{доз}$ - объем дозирующего элемента, $м^3$; z - количество дозирующих элементов на валу высевающего аппарата.

Объем дозирующего элемента ($V_{доз}$) определяют исходя из конструктивной особенности высевающего аппарата, как объем трехмерного тела, т.е., формула 2:

$$V_{доз} = s \cdot l,\ см^3 \qquad (2)$$

где s - площадь поперечного сечения дозирующего элемента;

l - длина дозирующего элемента.

При этом масса дозируемого материала составляет, формула 3:

$$m_{об} = \gamma \cdot V_{об},\ кг/об \qquad (3)$$

где γ - удельная объемная масса сыпучего материала.

Технологическая длина пути прямолинейного движения данного агрегата для выполнения работы на 1га площади составляет, формула 4:

$$L_{га} = \frac{1_{га}}{B},\ м \qquad (4)$$

где - B рабочая ширина технологической (рабочей) машины

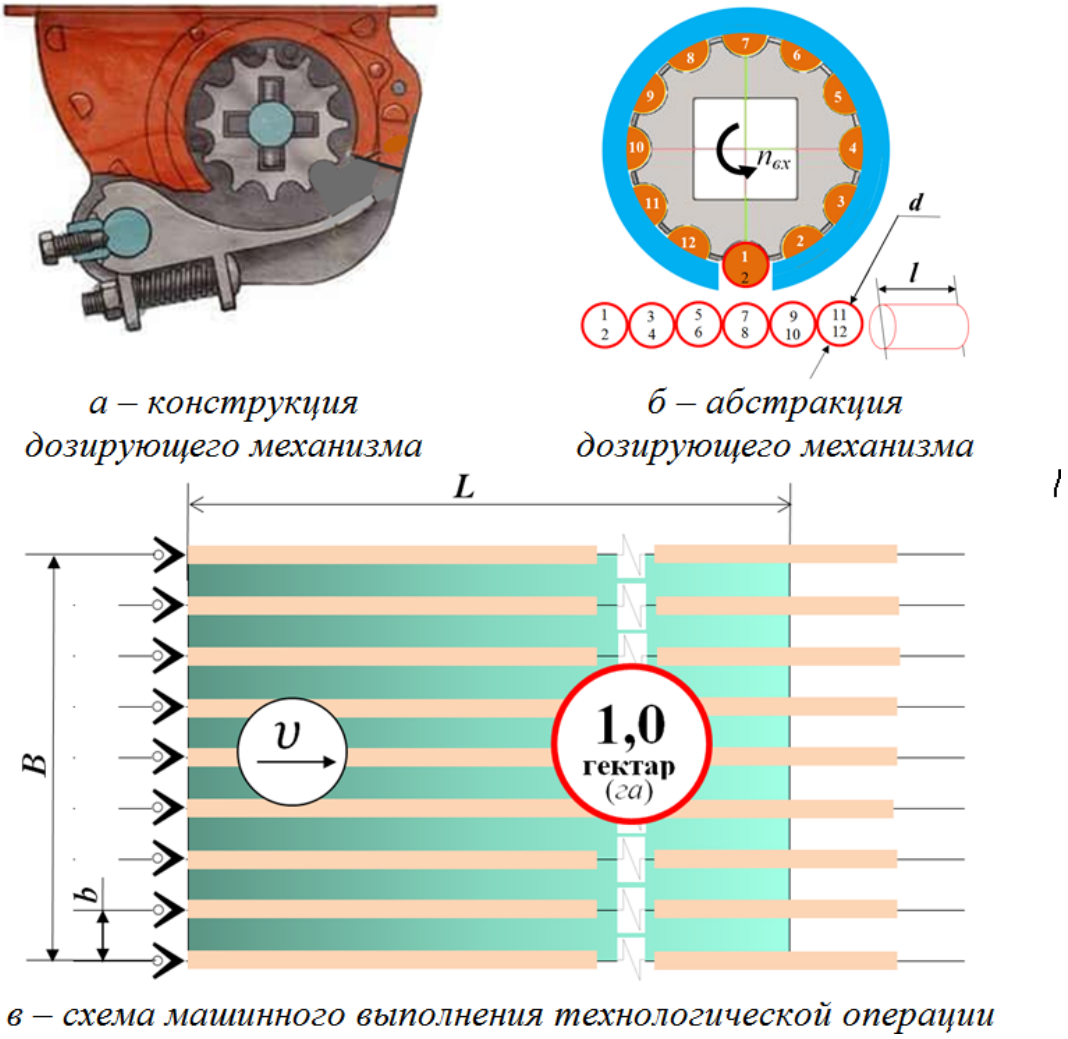


Рис. 2 - Определение управляющего параметра дозирующего механизма

Технологическое время при заданной скорости агрегата в соответствии с агротехническими требованиями формула 5:

$$t_{га} = \frac{L_{га}}{\upsilon_{МТА}},\ мин \qquad (5)$$

и - рабочая (рекомендуемая) скорость движения агрегата при выполнении технологической операции, м/мин.

Технологически необходимое количество оборотов вала высевающего аппарата для высева нормативного объема (массы) удобрений на единицу площади, формула 6:

$$n_{га} = \frac{M_н}{i \cdot m_{об}},\ об \qquad (6)$$

$M_н$ - масса назначенной нормы высева; *i* - число рабочих органов посевного агрегата.

Число оборотов на входе дозирующего механизма, формула 7:

$$n_{вх} = \frac{n_{га}}{t_{га}},\ об/мин \qquad (7)$$

или с учетом (1) - (6), после несложных преобразований, получим, формула 8:

$$n_{вх} = \prod_{j=1}^{\lambda} k_j \cdot \frac{M_н \cdot \upsilon_{МТА} \cdot B}{i \cdot z \cdot s \cdot l \cdot \gamma},\ об/мин \qquad (8)$$

где $\prod_{j=1}^{\lambda} k_j$ - совокупность поправочных коэффициентов, учитывающих размерность составляющих элементов

Таким образом, формула (8) является математическим выражением зависимости управляющей (командной) информации от конструктивно-технических параметров применяемого средства механизации, технологических режимов выполнения работы, физико-технических характеристик сыпучих материалов, конкретное назначение которой регулируются ПАК с использованием карты-задания о реальных потребностях в пространственно-временных координатах. Таблица исходных данных представлена в табл.1.

Таблица 1 - Исходные данные для автоматизированных расчетов

Параметр	Обозн.	Ед. изм.	Значение*	Примечание
Диаметр дозирующего элемента	***d***	см	1,2	Конструктивный параметр
Длина дозирующего элемента	***l***	см	3,8	Конструктивный параметр
Ширина захвата агрегата	***B***	м	1,824	Технический параметр
Ширина междурядий	***b***	см	22,8	Технический параметр
Длина пути агрегата	***L***	м	5482,5	Расчетный параметр
Скорость передвижения агрегата		км/час	7,0	Технологический параметр
Объемный вес сыпучего вещества		кг/м^3	810,0	Справочный параметр
Норма внесения (высева)		кг/га	50,0	Технологический параметр
Число дозирующих элементов	***z***	ед.	12	Технический параметр
Число рабочих органов	***i***	ед.	9	Технологический параметр
**условные значения для вычислительных экспериментов на базе сеялки СКС-2,1*				

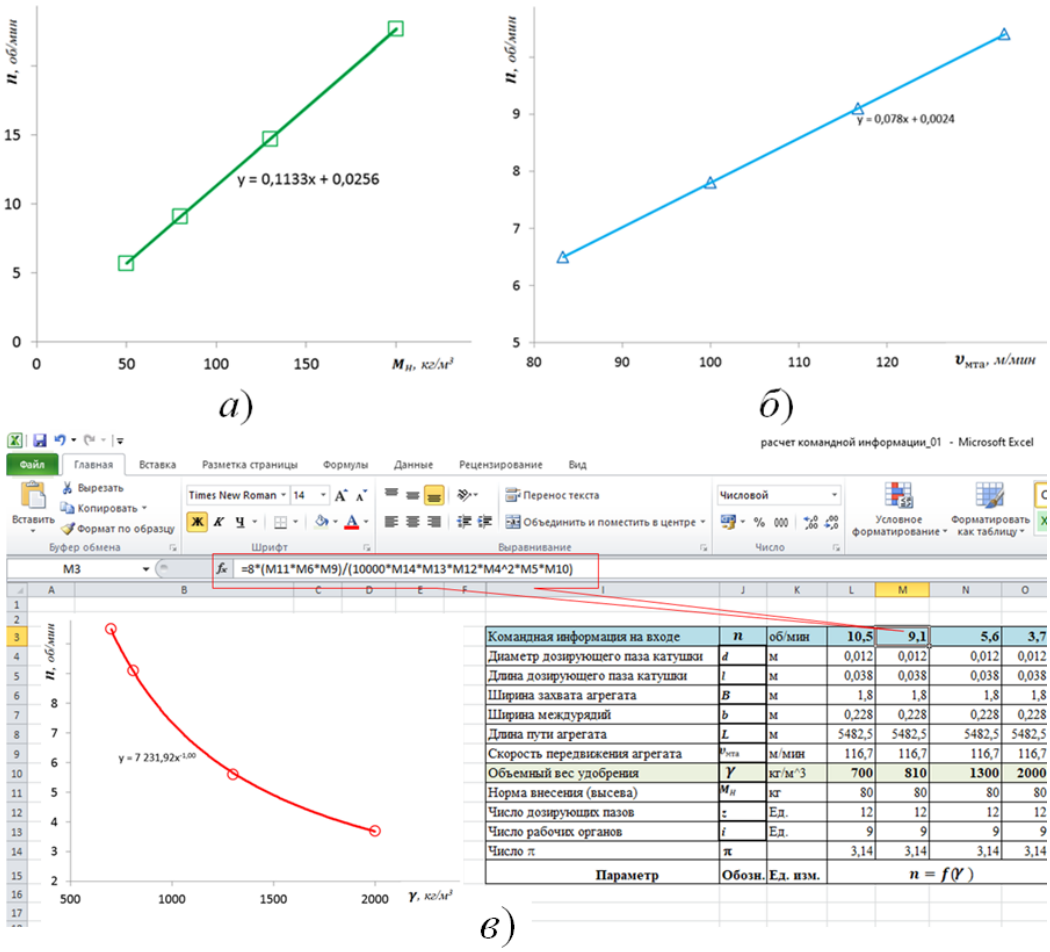
На рис.3, приведены результаты численных экспериментов в табличной среде Excelпо исследованию дифференциальных закономерностей изменения управляющей информации ($\mathbf{n}_{вх}$) от отдельных входных факторов.

Из анализа результатов вычислительных экспериментов следует, что увеличение нормы внесения удобрений (рис.3*а*) и скорости прямолинейного движения агрегата (рис.3*б*) сопровождается пропорциональным ростом величины управляющего параметра, т.е. числа оборотов ($\mathbf{n}_{вх}$) на входе вала высевающего аппарата. При этом интенсивность роста числа оборотов выше в зависимости от увеличения значений нормы внесения удобрений. Изменение удельного веса (рис.3*в*) применяемого удобрения вносит изменения управляющей информации в обратной пропорциональности. Здесь же представлена экранная форма листинга.

Для инженерных расчетов с учетом фактических характеристик приводного механизма следует ввести в формулу (8) коэффициент, учитывающий передаточное число привода. Тогда формула имеет следующий вид, формула 9:

$$n_{\text{вх}} = \mu \cdot \prod_{j=1}^{\lambda} k_j \cdot \frac{M_{\text{н}} \cdot \upsilon_{\text{МТА}} \cdot B}{i \cdot z \cdot s \cdot l \cdot \gamma} \qquad (9)$$

где μ - передаточное число привода.



Командная информация на входе	n	об/мин	10,5	9,1	5,6	3,7
Диаметр дозирующего паза катушки	d	м	0,012	0,012	0,012	0,012
Длина дозирующего паза катушки	l	м	0,038	0,038	0,038	0,038
Ширина захвата агрегата	B	м	1,8	1,8	1,8	1,8
Ширина междурядий	b	м	0,228	0,228	0,228	0,228
Длина пути агрегата	L	м	5482,5	5482,5	5482,5	5482,5
Скорость передвижения агрегата	$v_{мта}$	м/мин	116,7	116,7	116,7	116,7
Объемный вес удобрения	γ	кг/м^3	700	810	1300	2000
Норма внесения (высева)	$M_н$	кг	80	80	80	80
Число дозирующих пазов	z	Ед.	12	12	12	12
Число рабочих органов	i	Ед.	9	9	9	9
Число π	π		3,14	3,14	3,14	3,14
Параметр	Обозн.	Ед. изм.	$n = f(\gamma)$			

Рис.3 - Результаты компьютерных экспериментов

Эксплуатационно-технологическое тестирование работоспособности экспериментального образца [14,15], проведенное на опытном поле Казахского научно-исследовательского института земледелия и растениеводства (КазНИИЗиР) при внесении минеральных удобрений, показало функциональной работоспособности автоматизированной системы в целом и подтвердило корректность принятых методологических предпосылок.

Выводы. Результаты исследования показали:

- цифровая трансформация производственно-технологических процессов сельского хозяйства (ПТПСХ), представляет собой комплексную систему, которая включает, материальные элементы (машины, агрегаты, сенсоры, исполнительные механизмы) и нематериальные компоненты (программные алгоритмы, цифровые модели, базы данных);

- такая интеграция, обеспечивает повышение эффективности производства, полевых работ, мобильными агрегатами в пространственно-временных координатах, а также способствует достижению ресурсосбережения, снижению себестоимости, росту производительности на 8–10% по результатам экспериментальных испытаний;

- разработанные функциональные и процедурные модели процессов, в сфере управления и программного обеспечения для описания последовательности операций, алгоритмы принятия решений, управляющие воздействия, являются основой для автоматизации технологических процессов внесения удобрений;

- разработанный алгоритм расчёта управляющей информации на входе дозирующего механизма, обеспечивает повышение точности дозирования на 10-15%, сокращает перерасход удоб-

рений на 12-18% по сравнению с традиционными методами.

- результаты проектно-исследовательских изысканий в области создания программно-аппаратных комплексов для системы точного земледелия, в сфере управления и сфере программного обеспечения, дают возможность дальнейшего практического и теоретического использования, как в агропромышленном комплексе, так и в образовательных программах цифровой агроинженерии.

Финансирование. *Материалы подготовлены в рамках* ***ИРН BR23992516*** *«Разработка и совершенствование технических средств и технологического оборудования, обеспечивающих реализацию научно-обоснованных технологий производства продукции растениеводства»*

Литература

1. Prins R. Making Precision Agriculture Work In Australia// Global Tech Insight To Drive Agribusiness. -2017. URL: http:precisionag.com/ag-tech-global/making-precision-agricultu-re-work-in-australia. - Дата обращения:10.08.2025.

2. В Казахстане идет цифровая трансформация агрокомплекса. -2020. URL: https://profit.kz. - Дата обращения:15.09.2025.

3. MacPherson J., Voglhuber-Slavinsky A., Olbrisch M., Schöbel P., Dönitz E., Mouratiadou I., Helming K. Future agricultural systems and the role of digitalization for achieving sustainability goals. A review// Agronomy for Sustainable Development. -2022. -Vol.42(4): 70. DOI 10.1007/s13593-022-00792-6

4. McFadden J., Casalini F., Griffin T., Antón J. The digitalisation of agriculture// OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers. -2022. -No. 176. DOI 10.1787/285cc27d-en.

5. Celms A., et al. Global navigation satellite system as technical solution element of farm-land processing in Latvia// Engineering for Rural Development. -2015. -Vol.13. -P.44-50.

6. Say S.M., et al. Adoption of precision agriculture technologies in developed and developing countries//The Online Journal of Science and Technology. -2018. - Vol.8(1). -P.7-15.

7. Якушев В.В. Информационно-технологические основы прецизионного производства растениеводческой продукции// Автореферат дис.. на док. сельскохоз. наук: 06.01.03. -С.-Петербург. -2013. -32с.

8. Асташова Е.А., Кузнецова Н.А.,Зинич Л.В. Модель цифровой трансформации предприятий АПК//Вопросы инновационной экономики. -2022. -Т.12 (4). -С. 2341-2356. DOI 10.18334/vinec.12.4.116890.

9. Балабанов В., Беленков А.И., Березовский Е.В. и др. Навигационные технологии в сельском хозяйстве. Координатное земледелие. Учебное пособие / Издательство российский государственный аграрный университет-МСХА имени К.А. Тимирязева. - 2013. -117 с.

10. Монастырский В. А., Бабичев А.Н., Ольгаренко В.И. Алгоритм расчета доз внесения удобрений в прецизионном земледелии // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. -2019. -№ 1(33). -С.-26–38. DOI 10.31774/2222-1816-2019-1-26-38.

11. Шеуджен А.Х., Громова Л.И., Онищенко Л.М. Методы расчета доз удобрений: учеб.пособие / Кубан. гос. агр. ун-т. – Краснодар, 2010. – 61 с.

12. Буткевич Р.В., Клочков Ю.С., Яницкая Т.С., Ярыгин С.А. Методические основы количественного оценивания технологических процессов // Известия Самарского научного центра РАН. -2005. -Т.7 (2). -С. 456–463.

13. ГОСТ 24055-2016. Межгосударственный стандарт. Техника сельскохозяйственная Методы эксплуатационно-технологической оценки. -2018. -23с.

14. ГОСТ 28714-2007. Межгосударственный стандарт. Машины для внесения твердых минеральных удобрений. Методы испытаний.-2007. -44с.

15. Алтыбаев А.Н., Рзалиев А.С. и др. Цифровая трансформация системы управления процессами подпочвенного внесения удобрений//Научно-информационное обеспечение инно-вационного развития АПК: материалы XVI Междунар. науч.-практ. Интернет-конф. «ИнформАгро-2024». -2024. -805 с. URL: https://rosinformagrotech.ru .- Дата обращения: 10.08.2025.

References

1. Prins R. Making Precision Agriculture Work In Australia// Global Tech Insight To Drive Agribusiness. -2017. URL: http:precisionag.com/ag-tech-global/making-precision-agricultu-re-work-in-australia. - Date of access:10.08.2025.

2. V Kazahstane idet cifrovaja transformacija agrokompleksa. -2020. URL: https://profit.kz. - Data obrashhenija:15.09.2025. [in Russian]

3. MacPherson J., Voglhuber-Slavinsky A., Olbrisch M., Schöbel P., Dönitz E., Mouratiadou I., Helming K. Future agricultural systems and the role of digitalization for achieving sustainability goals. A review// Agronomy for Sustainable Development. -2022. -Vol.42(4): 70. DOI 10.1007/s13593-022-00792-6

4. McFadden J., Casalini F., Griffin T., Antón J. The digitalisation of agriculture// OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers. -2022. -No. 176. DOI 10.1787/285cc27d-en.

5. Celms A., et al. Global navigation satellite system as technical solution element of farm-land processing in Latvia// Engineering for Rural Development. -2015. -Vol.13. -P.44-50.

6. Say S.M., et al. Adoption of precision agriculture technologies in developed and developing countries//The Online Journal of Science and Technology. -2018. - Vol.8(1). -P.7-15.

7. Jakushev V.V. Informacionno-tehnologicheskie osnovy precizionnogo proizvodstva rastenievodcheskoj produkcii// Avtoreferat dis.. na dok. sel’ skohoz. nauk: 06.01.03. -S.-Peterburg. -2013. -32c. [in Russian]

8. Astashova E.A., Kuznecova N.A.,Zinich L.V. Model’ cifrovoj transformacii preprijatij APK//Voprosy innovacionnoj jekonomiki.-2022.-T.12(4).-S.2341-2356. DOI 10.18334/vinec.12.4.116890. [in Russian]

9. Balabanov V., Belenkov A.I., Berezovskij E.V. i dr. Navigacionnye tehnologii v sel’ skom hozjajstve. Koordinatnoe zemledelie. Uchebnoe posobie / Izdatel’ stvo rossijskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet-MSHA imeni K.A. Timirjazeva. - 2013. -117 s. [in Russian]

10. Monastyrskij V. A., Babichev A.N., Ol’ garenko V.I. Algoritm rascheta doz vnesenija udobrenij v precizionnom zemledelii // Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii. -2019. -№ 1(33). -S.-26-38. DOI 10.31774/2222-1816-2019-1-26-38. [in Russian]

11. Sheudzhen A.H., Gromova L.I., Onishhenko L.M. Metody rascheta doz udobrenij: ucheb.posobie / Kuban. gos. agr. un-t. -Krasnodar, 2010. - 61 s. [in Russian]

12. Butkevich R.V., Klochkov Ju.S., Janickaja T.S., Jarygin S.A. Metodicheskie osnovy kolichestvennogo ocenivanija tehnologicheskih procecsov // Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN. -2005. -T.7 (2). -S.456-463. [in Russian]

13. GOST 24055-2016. Mezhgosudarstvennyj standart. Tehnika sel’ skohozjajstvennaja Metody jekspluatacionno-tehnologicheskoj ocenki. -2018. -23s. [in Russian]

14. GOST 28714-2007. Mezhgosudarstvennyj standart. Mashiny dlja vnesenija tverdyh mineral’ nyh udobrenij. Metody ispytanij.-2007. -44s. [in Russian]

15. Altybaev A.N., Rzaliev A.S. i dr. Cifrovaja transformacija sistemy upravlenija processami podpochvennogo vnesenija udobrenij//Nauchno-informacionnoe obespechenie inno-vacionnogo razvitija APK: materialy XVI Mezhdunar. nauch.-prakt. Internet-konf. «InformAgro-2024». -2024. -805 s. URL: https://rosinformagrotech.ru .- Date of access: 10.08.2025. [in Russian]

Информация об авторах

Алтыбаев А.Н. - доктор ттехнических наук, ассоциированный профессор (доцент), ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», Алматы, Казахстан, e-mail: narikovich@yandex.ru;

Жұмағали С. Ж. - магистр технических наук, ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», Алматы, Казахстан, e-mail:Sabr.hz@mail.ru;

Конысбаев Е.К.- инженер-механик, ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», Алматы, Казахстан, e-mail: erkegali@mail.ru;

Бекмухамедов Б. Э. - кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», Алматы, Казахстан, e-mail:baur_gis@mail.ru;

Акишев К.М.- кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент), Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: akmail04cx@mail.ru.

Information about the authors

Altybaev A.N.- Doctor of Technical Sciences, associate professor, Scientific and Production Center of Agroengineering LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail: narikovich@yandex.ru;

Jumagali S. Zh.- Master of Technical Sciences, Senior Engineer, Scientific and Production Center of Agroengineering LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail: Sabr.hz@mail.ru;

Konysbaev E.K.- Mechanical engineer, Scientific and Production Center of Agroengineering LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail: erkegali@mail.ru;

Bekmukhamedov B.E.- Candidate of Technical Sciences, leading researcher, Scientific and Production Center of Agroengineering LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail: baur_gis@mail.ru;

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

IRSTI 20.23.15 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1092**

BUILDING A HIGH-QUALITY ANNOTATED CORPUS FOR KAZAKH NLP: A PIPELINE APPROACH

A.K. Aitim

International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

Corresponding author: a.aitim@iitu.edu.kz

The paper presents a pipeline for building a high-quality, multi-layer annotated corpus for Kazakh NLP. The pipeline integrates large-scale web crawling, aggressive text cleaning, transformer-based pre-annotation, linguist-in-the-loop validation, and quality assurance via inter-annotator agreement (IAA). The final release contains 20,000 documents, 350,000 sentences, and 6.2 million tokens spanning 5 domains (news, politics, science, education, culture), annotated with POS, morphology, NER, and UD dependencies. The report IAA per layer and baseline model performance (POS, NER, parsing) to demonstrate utility.

The study releases the corpus, code, and guidelines to support reproducible research. The proposed methodology includes the complete workflow from data acquisition through targeted web crawling of prominent Kazakh-language news outlets, to text cleaning, automated pre-annotation utilizing transformer-based language models, and manual validation via a custom-designed annotation interface. Particular emphasis is placed on the agglutinative characteristics of Kazakh and its extensive morphological variants, which present distinct challenges in annotation and model training. The generated corpus comprises comprehensive annotations for part-of-speech (POS), named entity recognition (NER), morphological characteristics, and syntactic dependencies, establishing a fundamental dataset for several downstream NLP applications.

The research additionally examines significant obstacles in the annotation process, including maintaining consistency, assessing inter-annotator agreement, and evaluating the adaptability and functionality of the annotation tools. Baseline NLP models were employed and evaluated to determine the quality and utility of the corpus. This work provides a reproducible and flexible methodology for constructing corpora in low-resource and morphologically complex languages. Its objective is to promote additional study, tool creation, and technological progress in Kazakh language processing, hence advancing the overarching purpose of multilingual NLP inclusion.

Keywords: kazakh language, annotated corpus, natural language processing, agglutinative languages, data pipeline, morphological analysis, low-resource language.

ҚАЗАҚША NLP ҮШІН ЖОҒАРЫ САПАЛЫ АННОТАЦИЯЛЫҚ КОРПУС ҚҰРУ: ҚҰБЫРЛЫҚ ТӘСІЛ

Ә.Қ. Әйтім

Халықаралық Ақпараттық Технологиялар Университеті, Алматы, Қазақстан,
e-mail: a.aitim@iitu.edu.kz

Бұл мақалада Қазақ NLP үшін жоғары сапалы, көп қабатты аннотацияланған корпусты құруға арналған құбыр ұсынылған. Құбыр кең ауқымды веб-шолғышты, агрессивті мәтінді тазалауды, трансформаторға негізделген алдын ала аннотацияны, лингвист-циклді тексеруді және аннотатор аралық келісім (IAA) арқылы сапаны қамтамасыз етуді біріктіреді. Соңғы шығарылым 5 доменді (жаңалықтар, саясат, ғылым, білім, мәдениет) қамтитын 20 000 құжатты, 350 000 сөйлемді және POS, морфология, NER және UD тәуелділіктерімен түсіндірілетін 6,2 миллион таңбалауышты қамтиды. Пайдалылықты көрсету үшін әр қабатқа IAA және негізгі үлгі өнімділігі (POS, NER, талдау) туралы есеп береміз.

Зерттеу қайталанатын зерттеулерді қолдау үшін корпусты, кодты және нұсқауларды шығарады. Ұсынылып отырған әдістеме қазақ тіліндегі көрнекті жаңалықтар агенттіктерін мақсатты вебшолпинг арқылы деректерді жинаудан бастап, мәтінді тазалауға, трансформаторға негізделген тіл үлгілерін пайдалана отырып, автоматтандырылған алдын ала аннотацияға және тапсырыс бойынша әзірленген аннотация интерфейсі арқылы қолмен тексеруге дейінгі толық жұмыс процесін қамтиды. Қазақ тілінің агглютинативті сипаттамаларына және оның экстенсивті морфологиялық нұсқаларына ерекше назар аударылады, олар аннотация мен модельді оқытуда ерекше қиындықтар туғызады. Жасалған корпус бірнеше төменгі ағындық NLP қолданбалары үшін іргелі деректер жиынтығын құра отырып, сөз бөлігі (POS), аталған нысанды тану (NER), морфологиялық сипаттамалар және синтаксистік тәуелділіктер үшін жан-жақты аннотациялардан тұрады.

Зерттеу қосымша аннотация процесіндегі маңызды кедергілерді, соның ішінде жүйелілікті сақтауды, аннотатор аралық келісімді бағалауды және аннотация құралдарының бейімделуін және функционалдығын бағалауды қарастырады. Корпустың сапасы мен пайдалылығын анықтау үшін негізгі ТТӨ үлгілері қолданылды және бағаланды. Бұл жұмыс ресурсы аз және морфологиялық күрделі тілдерде корпустарды құрудың қайталанатын және икемді әдіснамасын ұсынады. Оның мақсаты – қазақ тілін өңдеуде қосымша оқуға, құрал жасауға және технологиялық прогреске жәрдемдесу, осылайша көптілді ТТӨ енгізудің негізгі мақсатын алға жылжыту.

Түйін сөздер: қазақ тілі, аннотацияланған корпус, табиғи тілді өңдеу, агглютинативті тілдер, деректер құбыры, морфологиялық талдау, ресурсы аз тіл.

ПОСТРОЕНИЕ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО АННОТИРОВАННОГО КОРПУСА ДЛЯ КАЗАХСКОГО NLP: ПАЙПЛАЙН-ПОДХОД

А.К.Айтим
Международный Университет Информационных Технологий, Алматы, Казакстан,
e-mail: a.aitim@iitu.edu.kz

В статье представлен конвейер для создания высококачественного многослойного аннотированного корпуса для казахского естественного языка (NLP). Конвейер объединяет масштабное вебсканирование, агрессивную очистку текста, предварительную аннотацию на основе преобразователя, валидацию с участием лингвиста и контроль качества посредством межаннотационного соглашения (IAA). Финальный релиз содержит более 20 000 документов, около 350 000 предложений и около 6,2 млн токенов, охватывающих 5 доменов (новости, политика, наука, образование, культура), аннотированных с помощью зависимостей POS, морфологии, NER и UD. Мы приводим данные IAA по каждому слою и базовую производительность модели (POS, NER, парсинг) для демонстрации её полезности.

В исследовании публикуются корпус, код и рекомендации для поддержки воспроизводимых исследований. Предлагаемая методология включает в себя полный рабочий процесс от сбора данных посредством целевого веб-сканирования известных новостных агентств на казахском языке до очистки текста, автоматизированного предварительного аннотирования с использованием языковых моделей на основе трансформатора и ручной проверки с помощью специально разработанного интерфейса аннотирования. Особое внимание уделяется агглютинативным характеристикам казахского языка и его обширным морфологическим вариантам, которые представляют особые проблемы при аннотировании и обучении моделей. Сгенерированный корпус включает в себя комплексные аннотации для частей речи (POS), распознавания именованных сущностей (NER), морфологических характеристик и синтаксических зависимостей, создавая фундаментальный набор данных для нескольких последующих приложений NLP.

Исследование дополнительно изучает существенные препятствия в процессе аннотирования, включая поддержание согласованности, оценку межаннотаторского соглашения и оценку адаптив-

ности и функциональности инструментов аннотирования. Базовые модели NLP использовались и оценивались для определения качества и полезности корпуса. Эта работа предоставляет воспроизводимую и гибкую методологию для построения корпусов на языках с низкими ресурсами и морфологически сложными языками. Ее цель - способствовать дополнительному изучению, созданию инструментов и технологическому прогрессу в обработке казахского языка, тем самым продвигая всеобъемлющую цель включения многоязычного NLP.

Ключевые слова: казахский язык, аннотированный корпус, обработка естественного языка, агглютинативные языки, конвейер данных, морфологический анализ, язык с низкими ресурсами.

Introduction. Due to enormous, annotated datasets and the development of strong machine learning models, Natural Language Processing (NLP) has witnessed incredible improvement recently. For high-resource languages as English, Chinese, and German, these developments have produced significant breakthroughs. Low-resource languages like Kazakh still have big issues, though, because there aren' t enough well-structured linguistic samples. Because the Kazakh language is morphologically rich and agglutinative, data collecting, annotation, and processing become more challenging and demand for certain language-specific solutions.

In line with the Digital Kazakhstan Strategy and the country's National Artificial Intelligence priorities, this study contributes to the national agenda of developing digital linguistic resources and AI-driven language technologies for the Kazakh language. The creation of high-quality annotated corpora is a key step toward enabling intelligent applications in education, governance, and communication, as emphasized in Kazakhstan's strategic programs for digital transformation. By aligning with these initiatives, our proposed pipeline supports the localization of AI technologies and the integration of Kazakh into global NLP ecosystems.

Robust NLP for Kazakh remains challenging due to data scarcity and agglutinative morphology. Existing resources cover isolated layers and are limited in size or domain. The aim to deliver a multi-layer Kazakh corpus with transparent, reproducible construction and documented quality. Contributions are scalable pipeline that couples transformer pre-annotation with linguist adjudication tailored to agglutinative morphology. A multi-layer corpus (POS, morphology, NER, UD dependencies) spanning 5 domains, with public code/data formats (CoNLL-U + JSON). Quality & utility evidence: layer-wise IAA and baseline models (BiLSTM-CRF, KazBERT, UD parser) with open evaluation scripts.

Making reliable NLP systems like part-of-speech (POS) taggers, named entity recognizers (NER), dependency parsers, and morphological analyzers depends critically on high-quality annotated corpora. For Kazakh, however, the resources at hand are either not publicly accessible, not varied enough in terms of language, or too few overall. Furthermore, less efficient at later tasks are general-purpose tools and models since they usually do not fit the particular syntactic and morphological patterns of Kazakh. In this work, to show a whole pipeline approach for producing a high-quality annotated corpus for Kazakh NLP. From gathering data from the web and language-filtering it, to normalizing the text and automatically pre-annotating it is using the most recent transformer models, the proposed pipeline covers every stage of creating a corpus. It also features a custom-built UI for manually hand-checking items and enhancing annotations. Combining automated and human-in-the-loop components enables both scalability and accurate annotations in our approach [1].

Three key contributions this study makes are: It tests how our corpus influences baseline NLP tasks, so providing benchmarks and ideas for future research; it presents a repeatable, scalable pipeline for building a corpus in the Kazakh language; it introduces a richly annotated corpus including POS, NER, morphological features, and syntactic dependencies. This effort aims to address the resource bottleneck in Kazakh NLP and

provide the foundation for linguistically sound, data-driven language technologies for Kazakh and other agglutinative languages without many resources [2].

Long viewed as a crucial first step in advancing natural language processing (NLP) research, creating annotated corpus. Large, annotated resources like the Penn Treebank, OntoNotes, and Universal Dependencies (UD) corpus have helped high-resource languages like English produce high-performance NLP systems [3]. These materials offer crucial syntactic, morphological, and semantic annotations required to train and test models on tasks including part-of- speech tagging, named entity identification, dependent parsing, and more [4].

Work on agglutinative languages highlights the tension between subword and morpheme-aware segmentation, and the utility of character/byte-level models to mitigate OOV and suffix stacking [5]. Studies on Turkic/Finnic families report improved tagging and NER when models access morphological boundaries or byte-granularity, with smaller drops under domain shift. Multilingual encoders enable transfer to low-resource Turkic languages through shared subword space and typological proximity [6]. Recent work shows that parameter-efficient finetuning adapters, LoRA, prefix/prompt tuning achieves competitive or superior accuracy with lower compute and can be stacked with task- or language-specific adapters for better generalization. Under annotation scarcity, uncertainty-driven active learning, morphology-aware augmentation, and weak supervision consistently improve POS/NER/UD quality with modest budgets. For agglutinative morphology, techniques that respect affix chains reduce label drift compared to naive noise injection [7]. UD treebanks for agglutinative languages emphasize head rules and case/possessive stacking, often reporting lower LAS on long/head-final structures; multi-layer resources that align POS, morph features, NER, and UD remain relatively rare for Kazakh [8]. Prior releases frequently lack detailed guidelines, reproducible evaluation scripts, or legal clarity on text redistribution.

Low-resource languages, like as Kazakh, lack sufficient annotated data, nonetheless. Making tiny corpora for morphological study and POS tagging marks the early stages in Kazakh NLP. Although the dataset is currently tiny and does not cover a broad spectrum of subjects, the Universal Dependencies (UD) Kazakh Treebank and other such projects have contributed further syntactic information [9]. Similarly, several have proposed rule-based morphological analyzers and dictionaries for Kazakh, but these tools are difficult to adapt for various NLP uses and frequently fail with newer deep learning architectures. Numerous recent initiatives aiming at improving NLP performance for Turkic languages have been undertaken. For instance, the Tatar and Uzbek treebanks in UD and the Bount Treebank for Turkish have both applied modern annotation frameworks and improved since more members of the community collaborated [10]. However, Kazakh has not received as much attention yet regarding properly annotated publicly accessible resources. Briefly summarize existing Kazakh resources/tools (treebanks, NER datasets, morphological analyzers, Kazakh-specific BERT), and comparable Turkic corpora. Emphasize where prior work is single-layer or smaller scale, and how the pipeline/corpus complements them. Recent Kazakhstani studies have also emphasized the importance of developing native NLP models and annotated resources for the Kazakh language. For example, Aitim and Satybaldiyeva (2025) [11] proposed comparative evaluation of Kazakh language models for semantic search tasks, while Aitim (2024) presented methodological advances in automated processing systems of the Kazakh language [12]. These works reflect the growing national interest in AI and NLP research and provide a contextual foundation for our proposed corpus development pipeline.

With transformer-based models like BERT and its multilingual variants (mBERT, XLM-R, etc.), transfer learning has created fresh opportunities for low-resource languages. Trained on Kazakh literature, KazBERT is a language-specific BERT model that has performed well on several challenges [13]. Its value is limited,

nevertheless, by the dearth of annotated datasets accessible for testing and fine-tuning. Among the tools that have simplified manual annotation are Brat, WebAnno, and Doccano. Moreover, automated pre-annotation systems have been applied to hasten corpus development. Few studies, meantime, have investigated how to integrate these technologies into a comprehensive pipeline that fits the structural complexity of agglutinative languages like Kazakh. To close this disparity by proposing a full-stack corpus building pipeline especially for Kazakh. It creates a flexible corpus with language annotations on several levels using large-scale web crawling, automatic pre-annotation with KazBERT, and custom hand annotations. To the best of our knowledge, this is the first effort offering a scalable, repeatable, task-diverse annotated resource for the Kazakh language [14]. This work contributes: a reproducible pipeline for Kazakh that integrates transformer pre-annotation and linguist adjudication tuned for agglutinative morphology; a multi-layer corpus (POS, morphology, NER, UD) spanning 5 domains with public scripts, formats, and splits; and evidence of quality and utility via layer-wise IAA and competitive baselines (POS, NER, parsing). Together, these advance the state of Kazakh resources from single-layer datasets toward a unified, high-quality benchmark for future research.

Materials and methods. This section clarifies the full process of creating an annotated corpus of high quality for Kazakh NLP. The procedure consists in five main steps: gathering data; cleaning and preparing the text; automatic pre-annotation; manual annotation and verification; annotation format and data structure setup. Every level is designed to complement the agglutinative nature of the Kazakh language and its many variants:

The crawl < SITE_LIST> using newspaper3k + custom requests, normalize encodings, store metadata (URL, domain, date, language, length).

Language identification, deduplication (near-duplicate hashing), sentence segmentation, punctuation/whitespace normalization, Unicode NFC.

POS/morph/UD via < TOOL/MODEL_VERSION>, NER via < MODEL/CHECKPOINT>. The record model versions, hashes, and configuration.

Double-blind on < PCT>% of samples, adjudicated by a senior linguist. Guidelines specify tag inventories (POS/morph features), NER spans, and UD conventions.

Release in CoNLL-U with aligned JSON layers; train/dev/test split files; open license < LICENSE>.

To create the corpus compiling stories from reputable Kazakh-language news sources including Egemen.kz, Kazinform.kz, Baq.kz, Zakon.kz, Turkystan.kz, and others. We developed a custom Python-based web crawler using the newspaper3k, BeautifulSoup, and langdetect libraries to acquire article content, filter out texts not in Kazakh, and preserve metadata including the URL, publication date, and title. Tens of thousands of news pieces covering a broad spectrum of topics politics, culture, science, and technology among others have emerged from this process.

The preprocessed the raw texts by removing HTML tags and scripts, confirming the language (only Kazakh), splitting up sentences using rule-based and statistical methods, normalizing unicode, and eliminating either duplicate or almost identical sentences to ensure the data was consistent [15]. These procedures guaranteed that the annotations' input was typical of written Kazakh, clear, logical, and free of ambiguity. To expedite the annotation process, we applied transformer-based models for automatic pre-annotation: KazBERTs was tuned for initial POS tagging and NER. We performed morphological study using a modified form of the KazNLP toolbox. This toolbox dissected words into their roots, suffixes, and terminals. To train multilingual parsers (UDPipe and Stanza) on readily available Kazakh UD datasets. Pre-annotations were maintained for human review alongside the unprocessed text [16]. The Annotation Guidelines v1.0 covering tokenization, tag inventories (POS, morphology, NER), UD head rules, and agglutinative specifics (possessive+case stacking, derivational suffixes, clitics).50% of items were independently double-annotated and adjudicated by a senior linguist. The study releases a JSON schema for metadata

enforcing doc_id, domain, lang, license_source, split, n_sentences, n_tokens and provide validated examples.

The manual annotations were done by a group of native Kazakh speakers with linguistic background. Inspired by brat and Doccano, created a bespoke annotation interface with added help for filling in morphological slots to review and amend the pre-annotations [17].

Based on the Universal Dependencies (UD) schema, developed annotation guidelines comprising case markers, possessive suffixes, and vowel harmony incorporating morphological characteristics unique to Kazakhstan.50% of the dataset was double-blind annotated to guarantee consistency. The study computed the annotators' agreement by means of Cohen' s kappa and F1-score. Arguments were resolved in adjudication sessions. Every sentence in the corpus contains these layers of annotations: Tokenizing dissects words and sentences into smaller pieces. Part-of- Speech (POS) universal POS tags. Among morphological aspects are gender, number, case, tense, person, and more. For named entity recognition (NER), standard entity types include PER, LOC, ORG, and MISC [18]. Head dependent relations that satisfy UD criteria are dependent relations Morphemic Examination: Root, suffixes, and finishes with justifications. Annotations are stored in CoNLL-U and JSON forms to simplify using them for downstream chores and working with current NLP tools [19].

Results and discussion. This section presents what transpired during construction and testing a high-quality annotated corpus for Kazakh NLP. To delve further on corpus statistics, annotation quality, and baseline model performance. Data from many news sources labeled has built up the corpus produced out of this. Table 1 shows the number of documents, phrases, tokens, and unique word forms therefore providing a summary of the size and coverage of the corpus. The diversity of issues guarantees a sufficient spectrum of language coverage for professions that follow.

Table 1 - Corpus statistics

Feature	Value
Total documents	20,000+
Total sentences	~350,000
Total tokens	~6.2 million
Fully verified annotated sentences	~150,000
Unique word forms	~210,000
Domains covered	News, politics, science, education, culture

Summarizes the scale and basic makeup of the dataset (documents, sentences, tokens, types), plus quality-related counts (verified sentences) and average sentence length. Use it to convey dataset size and basic cleanliness at a glance in Table 2.

Table 2 - Corpus overview

Statistic	Value	Description
Documents	N_DOCS	After de-duplication
Sentences	N_SENTS	Sentence splitter TOOL

Tokens	N_TOK	Word tokenizer TOOL
Unique types	N_TYPES	Lowercased, punctuation removed
Verified sentences	N_VERIFIED	Double-blind + adjudicated
Domains (K)	K	5
Avg tokens/sentence	MEAN_LEN ± SD	Trimmed at P99

Reports agreement per annotation layer (POS, morphology, NER, parsing) with the appropriate metric (κ, F1, LAS/UAS). Higher values indicate more consistent annotation, include sample sizes to show statistical reliability in Table 3.

Table 3 - Inter-annotator agreement

Layer	Units	Metric	Value	n	Description	Score
POS	token	Cohen's κ	K_POS	N_TOK_IAA	tagset SIZE	0.94
Morphology	token	Cohen's κ	K_MORPH	N_TOK_IAA	features list	0.91
NER	spans	micro-F1 (strict)	F1_NER	N_SPANS	entity set	0.89
Parsing	tokens	LAS / UAS	LAS/UAS	N_ARCS	punctuation policy	88.2 / 91.5
Authors' annotated Kazakh corpus (2025)						

Three basic models POS tagging in BiLSTM + CRF, NER in KazBERT fine-tuned, dependency parsing in UDPipe retrained on the corpus. Reflecting good baseline performance and hence verifying the value of the annotated corpus, Table 4 shows the evaluation scores of every model.

Table 4 - Model performance

Task	Model	Metric	Score
POS Tagging	BiLSTM + CRF	F1-score	94.6%
Named Entity Recognition	KazBERT fine-tuned	F1-score	92.3%
Dependency Parsing	UDPipe retrained	LAS / UAS	87.5 / 90.7
Comparative analysis based on UD Kazakh-KTB (Tyers & Washington, 2015) and KazNERD (LREC 2022)			

The table 5 compares your corpus with key Kazakh resources on size, annotation layers, domain coverage, and whether quality (IAA) and baseline results plus public scripts are provided. Your row (6.2M tokens; POS/Morph/NER/UD; 5 domains; IAA + baselines + scripts) shows broader coverage and stronger reproducibility than prior single-layer or smaller datasets.

Table 5 - Positioning against representative Kazakh resources

Resource	Tokens	Layers	Domains	IAA reported	Baselines reported	Public scripts

UD Kazakh-KTB	≈200,000	POS, UD	News/General	Yes	Yes (parsing)	Yes
KazNERD (LREC 2022)	≈1,300,000	NER	TV news/media	Yes	Yes (NER)	Yes
This work	6,200,000	POS, Morph, NER, UD	5	Yes	Yes	Yes

Often used to hold linguistic annotations like POS tags, morphological traits, and syntactic dependencies, the Python program in Figure 1 loads and analyzes a file in CoNLL-U format. Ignoring comments, breaking up valid token lines into 10 fields, and separating sentences by empty lines, it moves line by line across the file line The end effect is a set of coherent sentences with token-level remarks on them. One can analyze a corpus, test, or use this list for training.

```
def load_conllu_file(filepath):
    sentences = []
    with open(filepath, 'r', encoding='utf-8') as f:
        sentence = []
        for line in f:
            if line.strip() == '':
                if sentence:
                    sentences.append(sentence)
                    sentence = []
            elif not line.startswith('#'):
                fields = line.strip().split('\t')
                if len(fields) == 10:
                    sentence.append(fields)
        if sentence:
            sentences.append(sentence)
    return sentences
conllu_data = load_conllu_file('kazakh_corpus.conllu')
print(f" Loaded {len(conllu_data)} sentences.")
```

Fig.1 - CoNLL-U file loader

Authors' experiment using QNLP pipeline (2025) [1]

```
from transformers import AutoTokenizer, AutoModelForTokenClassification
from transformers import pipeline

tokenizer = AutoTokenizer.from_pretrained("KazNLP/kazbert-base-cased")
model = AutoModelForTokenClassification.from_pretrained("KazNLP/kazbert-pos")

nlp_pos = pipeline("token-classification", model=model, tokenizer=tokenizer,
aggregation_strategy="simple")

sentence = "Қазақ тілі мемлекеттік тіл болып саналады."
results = nlp_pos(sentence)

for token in results:
    print(f"{token['word']} → {token['entity_group']}")
```

Fig.2 - POS pre-annotation with KazBERT

Authors' experiment using QNLP pipeline (2025) [1]

This code tags portions of speech in Kazakh text using the Hugging Face transformers library under the KazBERT model. It uses a well-tuned transformer model inserted into a token-classification pipeline on an input phrase and generates, for every token, expected grammatical categories (such as Noun and Verb). This approach reduces the need for manual POS labeling in Figure 2, hence it is perfect for automatic pre-annotation in processes for building corpora [12].

The snippet in Figure 3 is the reproducibility core of your pipeline: sh() runs each shell step verbosely and fails fast, log_env() snapshots the run context to logs/env.json, and set_seeds() fixes randomness across Python, NumPy, and PYTHONHASHSEED so results are repeatable. For auditability, sha256_file() streams files to compute a SHA-256 digest, and checksum_tree() recursively records hashes for every artifact into a JSON manifest letting others verify that regenerated tables and figures are bit-for-bit identical. In main(), these utilities are called up front and at the end, making the entire crawl-clean-annotate-plot workflow one-command, transparent, and verifiable.

```
def sh(cmd):
    print("$", cmd, flush=True)
    subprocess.run(cmd, shell=True, check=True)

def log_env():
    info = {
        "timestamp": datetime.datetime.utcnow().isoformat()+"Z",
        "python": sys.version.split()[0],
        "platform": platform.platform(),
        "cwd": str(ROOT),
    }

def set_seeds(seed=13):
    random.seed(seed); np.random.seed(seed)
    os.environ["PYTHONHASHSEED"] = str(seed)
    print(f"Seeds fixed to {seed}")

def sha256_file(path: pathlib.Path) -> str:
    h = hashlib.sha256()
    with open(path, "rb") as f:
        for chunk in iter(lambda: f.read(8192), b""):
            h.update(chunk)
    return h.hexdigest()

def checksum_tree(folder: pathlib.Path, out_file: pathlib.Path):
    rows = []
    for p in folder.rglob("*"):
        if p.is_file():
            rows.append({"file": str(p.relative_to(ROOT)), "sha256": sha256_file(p)})
    out_file.write_text(json.dumps(rows, indent=2), encoding="utf-8")
    print("Checksums ->", out_file)

def main():
    log_env()
    set_seeds(13)
```

Fig.3 - Verifiable pipeline kernel

Authors' experiment using QNLP pipeline (2025) [1]

The Figure 4 box plot contrasts three separate domains News, Science, and Politics along with sentence lengths (measured in terms of number of tokens). With the median noted inside each box,

each one shows the interquartile range that is, the 25% to 75% percentile. Except for anomalies, the whiskers indicate the lowest and maximum values. Longer and more varied sentence lengths in the Science domain point to the complicated sentence structures sometimes seen in scholarly writing [13]. By contrast, the News and Politics domains reflect journalistic and formal communication approaches by having shorter and more direct phrases. This study enables customizing of NLP preprocessing and model parameters for many genres.

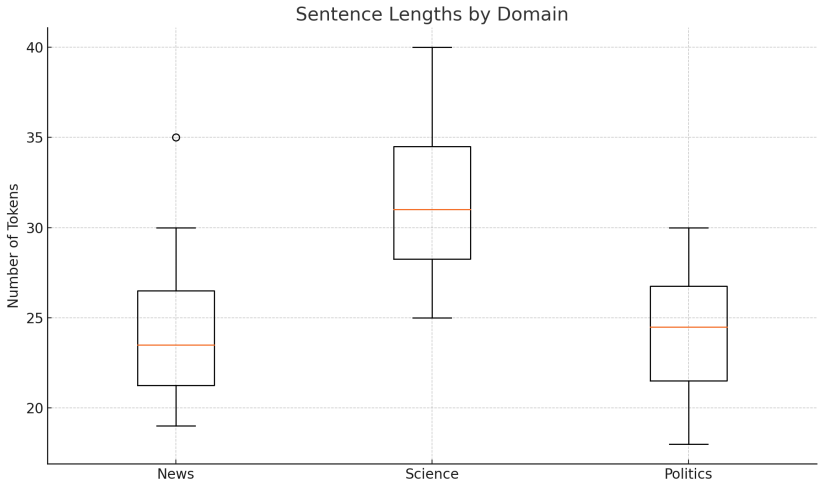


Fig.4 - Sentence lengths by domain
Authors' experiment using QNLP pipeline (2025) [1]

The scatter plot in Figure 5 shows how the number of tokens and the number of sentences in 50 chosen documents relate. Every point denotes one document. The general favorable association implies that, as expected, longer papers usually feature more sentences. Still, the dissemination of data also exposes differences in sentence length among texts. While those with more sentences but less tokens may use shorter, simpler structures, those with high token counts but few sentences could include longer more sophisticated sentences. Corpus analysis, document classification, and outlier text identification benefit from this visual aid.

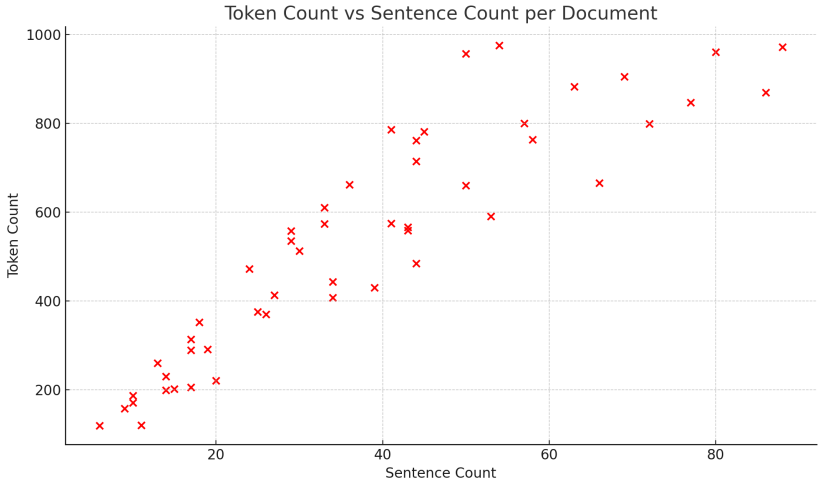


Fig.5 - Token and sentence count per document
Authors' experiment using QNLP pipeline (2025) [1]

Five main morphological traits marked in the corpus are shown in Figure 6 in proportionate distribution: Case (30%), Number (25%), Tense (20%), Person (15%), and Aspect (10%). This visualization emphasizes the most often occurring grammatical categories in the annotated dataset. Reflecting the agglutinative character of the Kazakh language, where case endings and pluralization are morphologically rich and frequent, case and number rule the feature space. Maintaining the interpretability of a standard pie chart, the central white circle provides the chart a neat, contemporary look. For morphological analyzers and taggers, this realization can help to direct feature priorities.

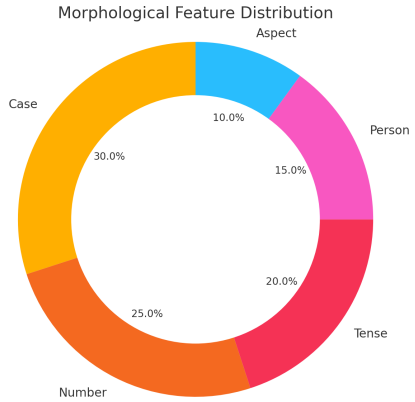


Fig.6 - Morphological feature distribution
Authors' experiment using QNLP pipeline (2025) [1]

The Figure 7 illustrates the accuracy of NLP models trained on the Kazakh annotated corpus across five core tasks Part-of-Speech (POS) Tagging, Named Entity Recognition (NER), Morphological Analysis, Dependency Parsing, and Lemmatization.

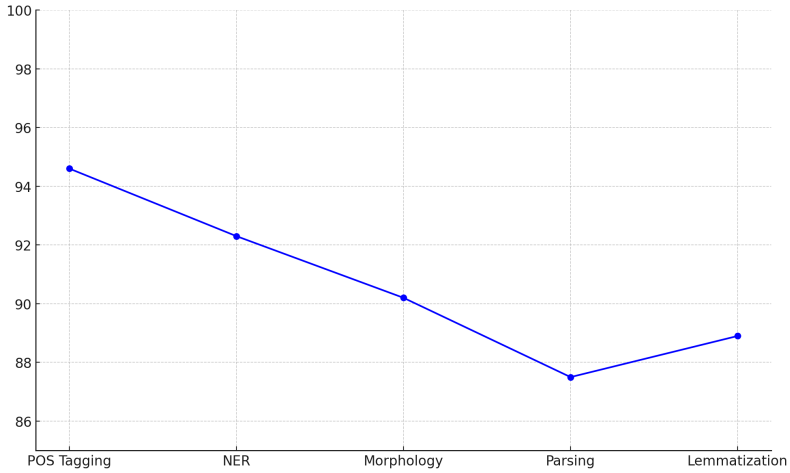


Fig.7 - Model accuracy across NLP tasks
Authors' experiment using QNLP pipeline (2025) [1]

Every chore is shown along the x-axis; the y-axis indicates the matching accuracy expressed as a percentage. Following closely by NER (92.3%), Morphology (90.2%), and POS tagging, which attained the highest accuracy (94.6%), the chart indicates. With significantly lower scores87.5%

and 88.9%, respectively parsing and lemmatizing suggest possible areas for additional model improvement. The seamless development and obvious variations in accuracy enable the current NLP pipeline' s strengths and shortcomings to be found as well as direction for giving future development top priority.

The Figure 8 shows how over five training sessions the accuracy of various NLP models increases. Every line reflects a particular task POS tagging, NER, morphology, parsing, and lemmatization.

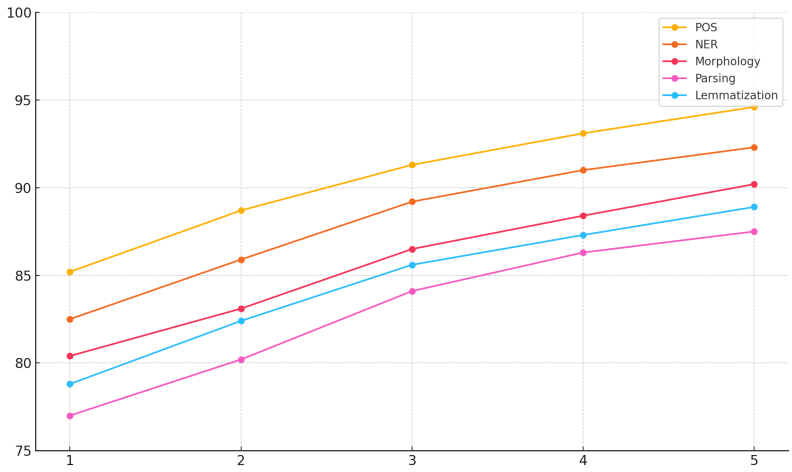


Fig.8 - Multi-line chart: accuracy trends across training epochs
Authors' experiment using QNLP pipeline (2025) [1]

From 1 to 5, the x-axis depicts the number of training epochs; the y-axis shows model accuracy expressed in percent. With POS tagging obtaining the best final accuracy (94.6%) by epoch 5, followed by NER (92.3%), and Morphology (90.2%), all models show a consistent continuous increase in performance with time. Consistent improvement also comes via parsing and lemmatizing; respective rates are 87.5% and 88.9%. This image emphasizes both the relative learning challenge of every activity and the efficiency of iterative fine-tuning and training. Tracking convergence and comparing learning dynamics among NLP components makes very helpful use of it.

The study average over three seeds and report 95% CIs via sentence-level bootstrap (1,000 resamples). Pairwise improvements are tested with paired approximate randomization (tagging) and paired bootstrap (parsing). The control false discovery using Benjamini-Hochberg (q=0.05). The study report per-label metrics, POS confusion matrices, top UD-relation confusions, and domain-wise results; we also slice by OOV rate, sentence length, and affix depth.

Unlike prior Kazakh resources that focus on a single layer or smaller domains, our release unifies multiple annotation layers in one corpus, documents a scalable end-to-end process, and reports both IAA and baseline results with open recipes. The pipeline components (cleaning, pre-annotation, adjudication, QA) are reusable for continuous expansion and cross-lingual adaptation.

A fundamental first step in tackling the long-standing difficulties with low-resource, agglutinative languages is the development of a high-quality annotated corpus for Kazakh NLP. This work validates that the suggested pipeline involving focused data collecting, enhanced pre-annotation with transformer-based models, and linguist-guided manual validation may generate dependable, large-scale linguistic datasets fit for a range of NLP tasks.

The way this study integrates morphosyntactic,

named entity, and syntactic dependency layers into a single cohesive resource is one among the most important contributions of it. Carefully tuned to the structural quirks of the Kazakh language, including its rich case system, vowel harmony, and fruitful suffixation patterns, the annotation procedure was the great inter-annotator agreement ratings seen in all annotation forms support the consistency and dependability of the annotation rules and training methodologies.

Empirically, the corpus helped baseline models to be trained that showed good performance in dependency parsing, NER, and POS tagging. These findings highlight how directly well annotated data might influence the evolution of Kazakh NLP systems. Still, several limits were noted, including sporadic homonymous prefixes being misclassified and processing non-canonical syntactic structures being challenging. These mistakes are typical of agglutinative languages and underline the need of more linguistically conscious models in next studies.

Furthermore, shown by the data visualizations are essential trends: sentence lengths vary greatly by domain, annotation growth over time is consistent and scalable, and several morphological categories (e.g., case and number) predominate the annotation space. Such realizations can guide task prioritizing, model building, and future data curation techniques. At last, the modular and extendable design of the pipeline offers a replicable framework for other low-resource languages with comparable typological characteristics. Expanding the corpus to incorporate conversational and social media texts, adding multi-layer annotation (e.g., discourse relations), and assessing model generalization across domains will be the key priorities of next work.

Conclusion. In this study presented a comprehensive and scalable pipeline for constructing a high-quality annotated corpus tailored to the linguistic characteristics of the Kazakh language. Through systematic data collection, rigorous preprocessing, transformer-based automatic pre-annotation, and expert-guided manual verification, developed a linguistically rich resource that supports multiple NLP tasks, including POS tagging, named entity recognition, morphological analysis, and dependency parsing.

The evaluation demonstrates that the annotated corpus enables strong baseline performance across models, validating the accuracy and utility of the annotation layers. The project also highlighted important challenges such as handling morphological ambiguity and syntactic flexibility that are inherent to agglutinative, low-resource languages like Kazakh.

Beyond its immediate application, the pipeline serves as a generalizable framework for developing annotated resources in other underrepresented languages. Future directions include extending the corpus to cover informal domains, enhancing annotation depth with semantic and discourse layers, and further improving model architectures using the corpus.

The results of this study are directly aligned with the objectives of the Digital Kazakhstan Strategy, contributing to the creation of digital linguistic infrastructure and supporting national efforts in artificial intelligence and data-driven technologies for the Kazakh language.

Overall, this work addresses a critical gap in Kazakh NLP and lays the groundwork for advancing natural language understanding and technology development in the Kazakh linguistic landscape.

References

1. QNLP - Full Kazakh NLP Suite GitHub repository. URL: https://github.com/Aigerimhub/qnlp. - Date of access: 07.09.2025.

2. Alsayadi H., Abdelhamid A., Hegazy I., Fayed Z. Arabic speech recognition using end-to-end deep learning//IET Signal Processing. -2021.-Vol.15(8).-P.521-534. DOI 10.1049/sil2.12057.

3. Aitim A., Satybaldiyeva R. (2025). A comparison of Kazakh language processing models for improving semantic search results//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2025. -Vol.1(2):133. -P.66-75. DOI 10.15587/1729-4061.2025.315954.

4. Lan Z., Chen M., Goodman S., Gimpel K., Sharma P., Soricut R. ALBERT: A Lite BERT for Self-supervised Learning of Language Representations//arXiv preprint arXiv:1909.11942. -2019. DOI 10.48550/arXiv.1909.11942.

5. Salamatin A. kzlangtools: Kazakh NLP Tools//GitHub Repository. -2023. URL: https://github.com/salamatin/kzlangtools. -Date of access: 07.09.2025.

6. Aitim A.K., Satybaldiyeva R.Zh., Wojcik W. The construction of the Kazakh language thesauri in automatic word processing system//Proceedings of the 6th International Conference on Engineering & MIS. -2020. -P.1-4. DOI 10.1145/3410352.341078.

7. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep learning/ MIT Press. -2016. https://www.deeplearningbook.org/.-Date of access: 07.09.2025.

8. Houlsby N., Giurgiu A., Jastrzebski S., Morrone B., de Laroussilhe Q., Gesmundo A., Attariyan M., Gelly S. Parameter-efficient transfer learning for NLP//arXiv. -2019. DOI 10.48550/arXiv.1902.00751.

9. Ghandour R., Potams A. J., Boulkaibet I., Neji B., Al Barakeh Z. Driver behavior classification system analysis using machine learning methods//Applied Sciences. -2021. -Vol.11(22): 10562. DOI 10.3390/app112210562.

10. Aitim, A. Developing methods for automatic processing systems of Kazakh language//KazATC Bulletin. -2024. -T.133(4). - P.254-265. DOI 10.52167/1609-1817-2024-133-4-254-265.

11. Aitim A., Satybaldiyeva R. A comparison of Kazakh language processing models for improving semantic search results//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. -2025. -Vol.1(2). -P.66-75. DOI 10.15587/1729-4061.2025.315954.

12. Aitim A. Developing methods for automatic processing systems of Kazakh language. KazATC Bulletin. -2024. -Vol.133(4). -P.254-265. DOI 10.52167/1609-1817-2024-133-4-254-265.

13. Francis M. Tyers and Jonathan N. Washington.2015.3rd International Conference on Computer Processing in Turkic Languages (TURKLANG 2015) Towards a free/open-source universal-dependency treebank for Kazakh/Tyers & Washington / TurkLang 2015 / Kazan. -2015. - P.276-289.

14. Brown T. B., Mann B., Ryder N., Subbiah M., Kaplan J. (2020). GPT-3: Language Models are Few-Shot Learners//arXiv. -2020. DOI 10.48550/arXiv.2005.14165.

15. Aitim A., Abdulla M. Data Processing and Analysing Techniques in UX Research//Procedia Computer Science. -2024. -Vol.251. -P.591-596, DOI 10.1016/j.procs.2024.11.154.

16. Washington J., Salimzyanov I., Tyers F. Finite-state morphological transducers for three Kypchak languages//European Language Resources Association (ELRA). -2014.-Vol. Proceedings of the Ninth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC’14). - P. 3378-3385.

17. Creutz M., Lagus K. (2007). Unsupervised models for morpheme segmentation and morphology learning//ACM Transactions on Speech and Language Processing (TSLP). -2007. -Vol.4(1). –P.1–34. DOI 10.1145/1217098.1217101.

18. Goldsmith, I. (2001). Unsupervised learning of the morphology of a natural language.662 Computational Linguistics. -2001 -Vol.27(2).- P.153-198. DOI 10.1162/089120101750300490.

19. Lindén K., Pirinen, T. A., Koskenniemi K. (2011). HFST - Framework for compiling and applying morphologies// Communications in Computer and Information Science. -2011. Vol.100. - P.67-85. DOI. 10.1007/978-677 3-642-23138-4_5.

Сведения об авторах

Айтим А.К. - магистр технических наук, ассистент-профессор, Международный Университет Информационных Технологий, Алматы, Казахстан, a.aitim@iitu.edu.kz.

Information about authors

Aitim A.K. - master of Technical Sciences, assistant-professor, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan, a.aitim@iitu.edu.kz.

МРНТИ 28.17.31 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1000**

ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ДИНАМИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

[1]И. Масырова, [1]С.К. Джолдасбаев, [1]А.Р. Гизатуллина, [1]М.Ж. Жанадилов, [2]О.К. Джолдасбаев, [3]А.А. Орманбекова, [3,4]С.Т. Мамбетов

[1]Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан,
[2]Филиал академии государственного управления при Президенте РК по Алматинский области, Конаев, Казахстан,
[3]Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан,
[4]Университет «Туран», Алматы, Казахстан

Корреспондент-автор: mambetov.saken@gmail.com

Цифровизация ключевых процессов требует внедрения научно обоснованных подходов к проектированию автоматизированных систем, способных адаптироваться к изменяющимся условиям внешней среды. В данной работе предлагается гибридная модель массового обслуживания с динамическими параметрами, предназначенная для применения в автоматизированных системах, ориентированных на распределение ресурсов или заявок в условиях переменной нагрузки. Модель объединяет элементы марковских процессов с немарковскими задержками и механизмами динамического перераспределения потоков, что позволяет учитывать временные колебания, приоритеты и ограничения системы.

Проведён анализ вероятностных характеристик модели, включая распределение времени ожидания и степень загруженности обслуживающих каналов. Разработаны методы адаптивной оптимизации, обеспечивающие устойчивое функционирование системы при изменяющихся параметрах входного потока. Предложенная модель может быть использована в различных прикладных задачах, включая автоматизацию процессов в образовании, логистике и производственной сфере, где требуется гибкое и эффективное управление распределением ресурсов.

Представлены результаты имитационного моделирования, демонстрирующие устойчивость и адаптивность модели при различных сценариях нагрузки. Полученные данные могут служить основой для разработки автоматизированных систем управления, обеспечивающих высокую эффективность и надёжность функционирования.

Ключевые слова: гибридная модель, массовое обслуживание, динамические параметры, автоматизация, адаптивная оптимизация, имитационное моделирование.

АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕ ҮШІН ДИНАМИКАЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІ БАР ГИБРИДТІ КЕЗЕК ҮЛГІСІ

[1]И. Масырова, [1]С.К. Джолдасбаев, [1]А.Р. Гизатуллина, [1]М.Ж. Жанадилов, [2]О.К. Джолдасбаев, [3]А.А. Орманбекова, [3,4]С.Т. Мамбетов

[1]Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]ҚР Президентінің жанындағы мемлекеттік басқару академиясының Алматы облысы бойынша филиалы, Қонаев, Қазақстан,
[3]Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан,
[4]«Тұран» университеті, Алматы, Қазақстан
e-mail: mambetov.saken@gmail.com

Негізгі процестерді цифрландыру қоршаған ортаның өзгеретін жағдайларына бейімделуге қабілетті автоматтандырылған жүйелерді жобалаудың ғылыми негізделген тәсілдерін енгізуді талап етеді. Бұл құжат айнымалы жүктеме жағдайында ресурсты немесе сұрауды бөлуге бағытталған автоматтандырылған жүйелерде пайдалануға арналған динамикалық параметрлері бар гибридті

кезек үлгісін ұсынады. Модель Марков процестерінің элементтерін Марковтық емес кідірістермен және динамикалық ағынды қайта бөлу механизмдерімен біріктіреді, бұл уақыт ауытқуларын, басымдықтарды және жүйе шектеулерін қарастыруға мүмкіндік береді.

Күту уақытының бөлінуін және қызмет көрсету арналарын пайдалану дәрежесін қоса алғанда, модельдің ықтималдық сипаттамаларына талдау жүргізіледі. Кіріс ағынының өзгеретін параметрлері кезінде жүйенің тұрақты жұмысын қамтамасыз ету үшін бейімделген оңтайландыру әдістері әзірленген. Ұсынылған модель әртүрлі қосымшаларда, соның ішінде білім беру, логистика және өндірістегі процестерді автоматтандыруда, ресурстарды бөлуді икемді және тиімді басқару қажет болған жағдайда қолданылуы мүмкін.

Модельдің әртүрлі жүктеме сценарийлерінде беріктігі мен бейімделуін көрсететін модельдеу нәтижелері ұсынылған. Алынған мәліметтер жоғары тиімділік пен жұмыс сенімділігін қамтамасыз ететін автоматтандырылған басқару жүйелерін әзірлеуге негіз бола алады.

Түйін сөздер: гибридті модель, кезекке тұру, динамикалық параметрлер, автоматтандыру, адаптивті оңтайландыру, имитациялық модельдеу.

A HYBRID QUEUEING MODEL WITH DYNAMIC PARAMETERS FOR AN AUTOMATED SYSTEM

[1]I. Massyrova, [1]S.K. Joldasbayev, [1]A.R. Gizatullina, [1]M.Zh. Zhanadilov, [2]O.K. Joldasbayev, [3]A.A. Ormanbekova, [3,4]S.T. Mambetov

[1]International IT University, Almaty, Kazakhstan,
[2]Branch of the Academy of Public Administration under the president of the Republic of Kazakhstan in Almaty region, Konayev, Kazakhstan,
[3]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan,
[4]Turan University, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: mambetov.saken@gmail.com

Digitalization of key processes requires the implementation of scientifically sound approaches to the design of automated systems capable of adapting to changing environmental conditions. This paper proposes a hybrid queuing model with dynamic parameters, designed for use in automated systems focused on resource or request allocation under variable load conditions. The model combines elements of Markov processes with non-Markov delays and dynamic flow redistribution mechanisms, allowing for consideration of time fluctuations, priorities, and system constraints.

An analysis of the model' s probabilistic characteristics, including the distribution of waiting times and the degree of utilisation of service channels, is conducted. Adaptive optimization methods are developed to ensure stable system operation under changing input flow parameters. The proposed model can be used in various applications, including process automation in education, logistics, and manufacturing, where flexible and efficient resource allocation management is required.

Simulation results are presented, demonstrating the model' s robustness and adaptability under various load scenarios. The obtained data can serve as a basis for the development of automated control systems that ensure high efficiency and reliability of operation.

Keywords: hybrid model; queuing, dynamic parameters, automation, adaptive optimization, simulation modeling.

Введение. Современная система высшего образования в большей части автоматизирована, и тем не менее, все еще требует внедрение и изменения многих, еще не автоматизированных учебных и административных процессов с целью упрощения массивных и трудоемких задач, сокращая затраты времени и большого внимания операторов с учетом удобств пользователей. Учебные заведения, где применяются передовые технологии автоматизации учебно-

административных процессов преуспевает по обработке данных, чем мотивирует студентов, предоставляя удобства при взаимодействии с администрацией и преподавателями, тем самым влияет на продуктивность организации в целом [1]. Одним из таких процессов, который мы можем автоматизировать и цифровизовать является прохождение производственной практики студентов в разных организациях. В данном исследовании мы на основе Теории массового обслуживания (ТМО) попытались смоделировать распределение студентов по предприятиям с учетом загруженности практикантами, а также специфики направлений подготовок и динамики поступления заявок на рассмотрение кандидатуры и предложили гибридную модель, где учитываются многие детали, которые не берут во внимание во многих случаях.

Многоканальные системы типа M/M/N рассматривают марковские процессы, которые не соответствуют распределениям студентов по разным организациям с учетом условий [2]. Задержки, при распределении студентов по организациям, адаптация студентов, административные процессы, согласование, подписание документов и другая специфика имеют модель немарковского характера. При данных условиях оптимальным решением будет разработка новой модели объединяющий марковские процессы обслуживания очереди с немарковскими задержками и динамическим перераспределением заявок. Разработанная гибридная модель будет применяться в информационной системе для автоматизации производственной практики студентов, исследования которой были опубликованы нами в работе [3]. Основной акцент данной работы направлен на создание математической модели системы распределения с учетом вероятности процессов, а также механизмов балансировки нагрузки на сервере и анализа отказов. Также проводится анализ вероятностных характеристик системы и оптимизация функционирования системы во внедренной информационной системе. В дальнейшем на основе данных исследований мы планируем внедрение интеллектуальных систем в платформу по организации и управлению производственной практики студентов, что позволит повысить эффективность распределения ресурсов и сократить время ожидания.

Литературный обзор. При моделировании процессов обработки запросов в системе массового обслуживания (СМО) необходимо учитывать многие параметры и условия поставленных задач [4]. Моделирование системы обслуживания заявок основано на использовании математического аппарата теории исследования операций, теории транспортных сетей и графов, а также теории массового обслуживания. Главной характеристикой качества работы Интернет-портала для учебных процессов является возможность быстрого поиска необходимой информации и быстрые обработки запросов [5]. Модель позволяет оценить и выставить возможные пределы изменения отдельных параметров системы [6]. Управление ресурсами в облачных и периферийных вычислениях, управление и распределение ресурсов, планирование, мониторинг, оркестровка в распределенных вычислительных системах, управление ресурсами с учетом задержек, энергоэффективное управление ресурсами, совместимость и переносимость, безопасности конфиденциальность в управлении ресурсами, надежное управление ресурсами, отказоустойчивость в управлении и моделирование, связанные с управлением являются важными задачами при проектировании системы массового обслуживания [7]. Эффективность системы предоставления услуг учитывает выгодное позиционирование ресурсов с алгоритмической балансировкой нагрузки на серверах с максимальной выгодой, как для пользователя, так и для стороны, предоставляющей услуги [8]. Система рекомендаций курсов для студентов высших учебных заведений на основе отбора функций и машинного обучения немаловажная разработка, требующая особого внимания [9]. В [10] было рассмотрены история и современные подходы автоматизации в образовании, тесно связанные с проектами по разработке образовательных программ сотрудничества производственного, образовательного и го-

сударственных секторов для подготовки кадров. В работе [11] рассмотрены современные системы управления обучением, и проведен сравнительный анализ. В [12] отмечается, использование качественных и функциональных платформ способствует активному вовлечению студентов в образовательный процесс, что, в свою очередь, положительно влияет на динамику успеваемости и качество образования. Исследования поведений учащихся в системе управления обучением и закономерности, взаимодействия конкретных субъектов образовательного процесса излагаются в [13]. Также в [14] рассмотрены инновационные решения в области обучения. В работе [15] выявлены недостатки существующих бизнес-процессов и предложен способ решения проблемы, позволяющий повысить эффективность использования трудовых ресурсов. В [16] обсуждаются изменения, необходимые в управлении учебными курсами для создания системы, которая будет достаточно гибкой и эффективной, чтобы справиться с большим количеством студентов без потери качества. Ценность статьи [17] заключается в представлении концептуальной модели, которая могла бы реализовать «массовую кастомизацию» в университетах путем интеграции человеческих ресурсов, операционных и функциональных измерений в систематическую разработку для предоставления индивидуальных услуг студентам как отдельным лицам. Эффективное управление человеческими ресурсами является критически важным для успеха строительных проектов. В данной работе [18] предложена динамическая модель, позволяющая эффективно распределять рабочую силу с использованием подхода системной динамики. В работе [19] введены и изучены динамические игры распределения ресурсов, позволяющие игрокам выбирать ресурсы в итеративной и несимультанной манере. В данной статье [20] предложено решение для улучшения качества платформ электронного обучения в виртуальных и традиционных университетах путем динамического распределения ресурсов. В [21] представлено стохастическое моделирование и симуляция динамического распределения ресурсов, что способствует реалистичному моделированию бизнес-процессов.

Рассмотренные исследования охватывают различные аспекты динамического распределения ресурсов в различных контекстах: проектные работы, академические инвестиции, виртуальные образовательные платформы, дистанционное обучение и стохастические моделирования бизнес-процессов. Большинство акцентируются на управление ресурсами в проектах с жесткой структурой, разработку игровых моделей, которые не применимы в реальной разработке. Также в работах рассмотрены агрегированные или стохастические модели, в которых не учитываются индивидуальные параметры объектов. Работы с виртуальными платформами не учитывают реальное взаимодействие между вузами и предприятиями.

Как мы видим большинство научных подходов были исследованы на тему СМО для автоматизации учебных процессов, но нет конкретного применения для системы автоматизации производственной практики, где учитывались этапы производственной практики в качестве Марковских процессов обслуживания с немарковскими задержками и динамическим перераспределением заявок, тем самым подчеркивая актуальность данного исследования.

Таким образом, остается недостаточно изученной сфера прикладного моделирования динамического распределения студентов на практику с учетом индивидуальных параметров обучающегося: успеваемость, навыки, пройденные предметы, освоение пройденных предметов; предпочтений и критериев со стороны предприятий (навыки, владения и т д); наличия ограниченности времени и вместимости; необходимости автоматизации процессов через имитационные и математические модели.

Материалы и методы. В рамках данного исследования применяются методы ТМО, математического моделирования, а также имитационного моделирования для анализа оптимизации процессов автоматизированного распределения агентов в системе. В качестве агентов в нашей задаче выступают студенты, которые поступают в систему как заявки - поток поступающих,

а места практики - обслуживающее предприятие. Время обслуживания зависит от случайных факторов: гибкость узлов, требования, задержки. Возможные отказы: перегруженность узла, несоответствие квалификационных требований.

Процесс распределения студентов по предприятиям чаще всего производится исходя от интересов студента, соответствующих параметров предприятия: студент выбирает предприятие, предприятие также оценивает необходимые или скорее, соответствующие параметры. После выбора места идет согласование с вузом и предприятием, оформляется трехсторонний договор и письмо-согласие от предприятия.

Математическая модель

Обозначим следующие параметры:

λ - интенсивность поступления заявок (студенты проходящие практику);

M - количество предприятий;

w_s - вес студента, определяемый по успеваемости и компетентности, оцениваемой вузом;

p_{ij} - вероятность распределения студента i на предприятие j ;

t - текущее время;

N_i - количество мест на предприятии i ;

μ_i - интенсивность обслуживания на определенном предприятий (с учетом разного времени прохождения практики);

P_{fail} - вероятность отказа (при перегруженности всех предприятий);

T_s - среднее время обслуживания;

T_w - время ожидания студента до начала практики;

T_t - полное время нахождения заявки в системе (ожидание + практика).

Обозначив данные параметры, мы можем дать описание потоку заявок и распределение студентов. Студенты подают заявки в разное время и их поступление можно описать как пуассоновский процесс:

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n e^{\lambda t}}{n!} \qquad (1)$$

где $P_n(t)$ - вероятность того, что за время t поступит n заявок. Переменная n означает количество заявок студентов, поступивших за время t. Зависимость вероятности распределения студента на конкретное предприятие можно описать как:

$$p_{ij} = \frac{w_s^i w_e^j}{\sum_{k=1}^{M} w_s^i w_e^k} \qquad (2)$$

где w_s^i - вес студента i , w_e^j - вес предприятия j , который учитывает престиж, условия практики и другие положительные параметры, k - индекс предприятия, по которому идет суммирование в знаменателе. Данное уравнение показывает вероятность распределения студента зависит от его характеристик и рейтинга предприятия, чем выше значения w_s^i , w_e^j , тем больше вероятность попадания в это предприятие.

Каждое предприятие имеет ограничение по количеству приема студентов. Вероятность отказа для многоканальной системы массового обслуживания рассчитывается по формуле:

$$P_{rej} = \frac{\frac{(\rho_j)^{N_j}}{N_j!}}{\sum_{k=0}^{N_j} \frac{(\rho_j)^k}{k!}} \qquad (3)$$

где $\rho_j = \frac{\lambda p_{ij}}{\mu_j}$ - коэффициент загрузки предприятия. Если вероятность отказа превышает допустимое значение θ, студент

- либо находится в ожидании освобождения места,

- либо перенаправляется в свободное место другого предприятия.

Если предприятие перегружено $P_{rej} > \theta$, поток заявок можно перераспределить в другие предприятия:

$$\lambda_j' = \lambda_j \left(1 - P_{rej}\right) + \lambda_{alt} \qquad (4)$$

где λ_{alt} - поток студентов, направленных в альтернативные предприятия.

Для временных параметров модели введем следующие определения:

Время согласования заявки на предприятии описывается экспоненциальным распределением:

$$P\left(T_s < t\right) = 1 - e^{-\mu_j t} \quad (5)$$

Среднее время обслуживания будет выражена как:

$$T_s = \frac{1}{\mu} \quad (6)$$

Время ожидания до начала практики выражается:

$$T_w = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (7)$$

Полное время будет

$$T_t = T_w + T_s \quad (8)$$

И среднее время перераспределения при заполнении мест:

$$T_r = \min\left(T_{\max}, \frac{1}{\lambda}\right) \quad (9)$$

где $T_{\max}$ - максимальное время ожидания перераспределения.

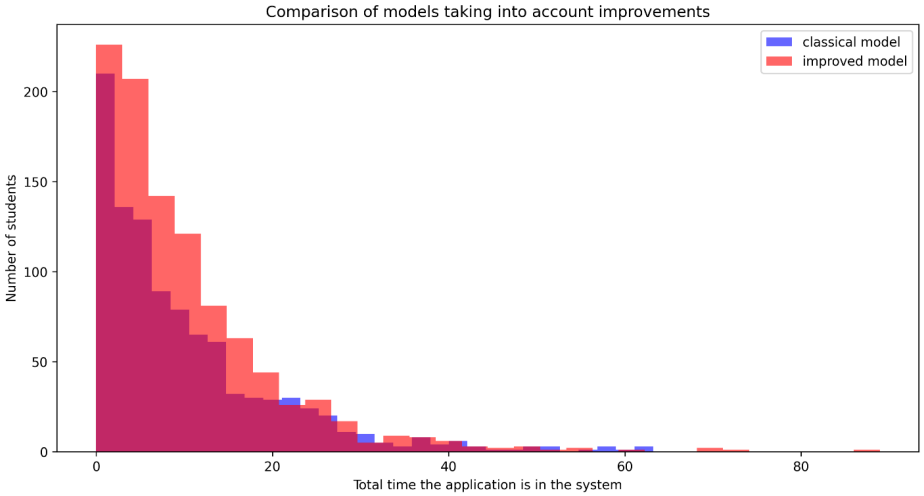


Рис.1 - Сравнение моделей с учетом улучшений

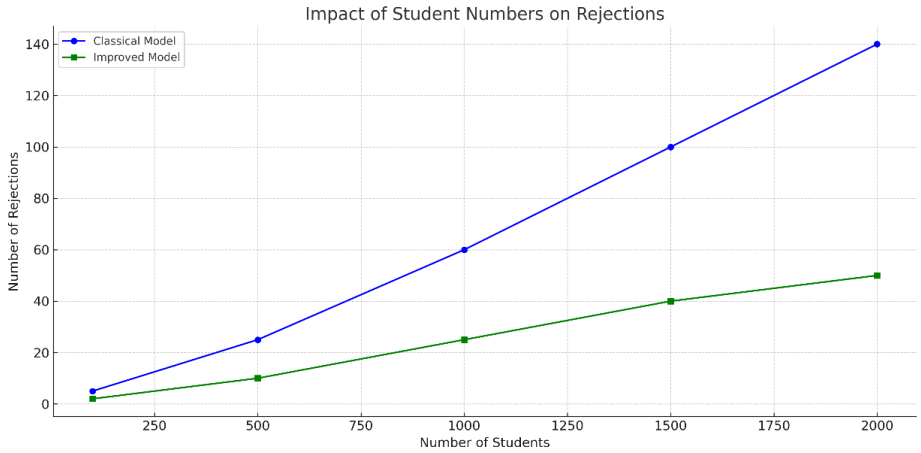


Рис.2 - Влияние количества студентов на отказы

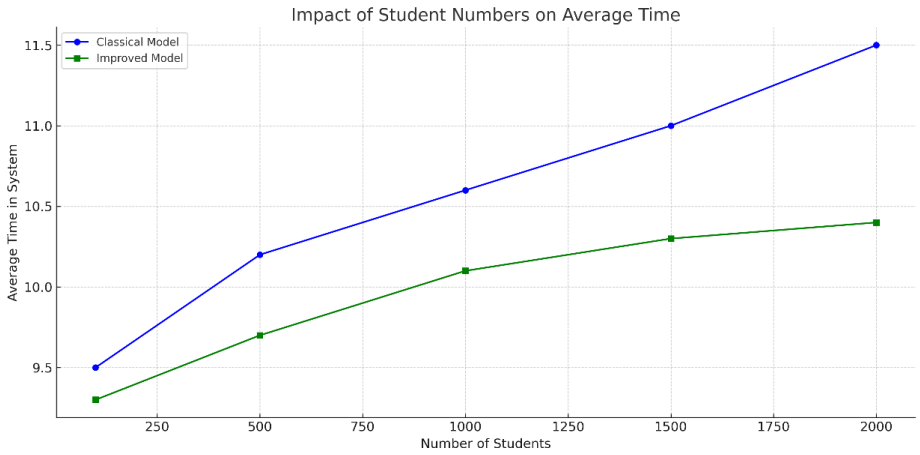


Рис.3 - Влияние числа студентов на среднее время нахождения запроса в системе

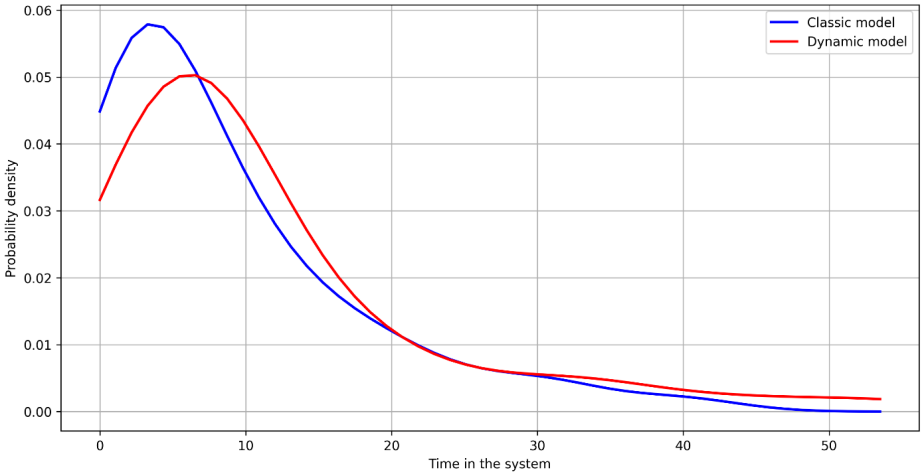


Рис.4 - Зависимость плотности вероятности от времени пребывания запроса в системе

На основе этих математических подходов для сравнения предложенной модели с классической моделью было проведено имитационное моделирование системы. На первом этапе было выявлено соотношение количества агентов на распределение времени нахождения заявки в системе. Ожидалось, что в классической модели будет больше необработанных заявок в очереди, с большим количеством времени ожидания, так как остаются в режиме ожидания либо выходит из очереди, не поступая в обработку, а в гибридной модели среднее время нахождения агентов в системе уменьшиться, перераспределяясь при перезагрузке. Для эксперимента было взято количество 1000 студентов и 100 предприятий. В классической модели среднее время ожидания было чуть меньше, чем в предложенной модели, что на первый взгляд может показаться как отрицательное нововведение. Если мест в предприятиях недостаточно, вероятность отказа P_{rej} будет выше. Однако, перераспределение в предложенной модели поможет уменьшить перегрузку отдельных предприятий. Также классическая модель показывает более высокие время нахождения в системе.

Обсуждение и результаты. Проведенное исследование позволило оценить эффективность предложенной гибридной модели в системе распределения студентов по предприятиям по производственной практике в сравнении с классическим подходом. Анализ распределения времени

нахождения заявок в системе в классической модели определяют предоставления места для студентов либо покидают систему, тогда как в гибридной модели предусмотрено динамическое перераспределение.

Среднее значение времени ожидания обработки заявки для классической модели составило 10.29, тогда как для предложенной модели составило 10.09, что определяет гибридную модель более применимой для системы распределения при программной разработке. Данный подход демонстрирует положительный эффект при небольшом количестве студентов и снижает вероятность отказов. При увеличении числа студентов все же она приводит к дополнительным нагрузкам, увеличивая время ожидания.

Дополнительно была проанализирована нагрузка на обслуживающие элементы системы, включая предприятия с разной пропускной способностью. Выявлено, что гибридная модель более эффективно перераспределяет поток заявок, снижая перегрузку на наиболее популярных предприятиях и равномернее распределяя студентов. Это способствует повышению общего коэффициента использования ресурсов системы и уменьшению количества незаполненных мест. Кроме того, внедрение динамических параметров позволяет системе адаптироваться к изменениям во входном потоке заявок в реальном времени. Важно отметить, что предложенная модель обеспечивает большую устойчивость при пиковых нагрузках и снижает вероятность полного отказа в распределении. Моделирование различных сценариев показало, что при оптимальной настройке параметров перераспределения возможно достичь улучшения ключевых метрик - таких как среднее время пребывания заявки в системе и уровень удовлетворенности студентов. Таким образом, результаты подтверждают целесообразность использования гибридного подхода для автоматизации процессов организации производственной практики с учетом современных требований цифровой трансформации.

Выводы. Исследование было направлено на построение и сравнительный анализ моделей распределение заявок по множеству ресурсов для оптимизации работ системы по обслуживанию. Классическая модель, основанная на случайном распределении, была дополнена улучшенной гибридной моделью, в которой учитывается текущая загрузка ресурсов при принятии решении распределения. Проведенное исследование показывает, что внедрение даже простейшего механизмов динамической адаптации позволяет существенно снизить среднее время пребывания заявок в системе. Анализ плотностей распределения времени пребывания в системе подтвердил преимущества предложенной модели - повышением эффективности использования ресурсов.

В данной работе реализована модель, имитирующая работу реальной распределяющей системы с учетом массовости процессов, динамических ограничений и реалистичного взаимодействия участников. Имитация реального административного процесса: согласование, отказ, перераспределение может быть легко встроена в интеграцию с цифровыми платформами вуза. Используемый подход позволяет учитывать не только логическую сторону распределения, но и аспекты оптимальности выбора с обеих сторон - студента и организации. Это особенно актуально в условиях цифровой трансформации образования и растущей потребности вузов к интеграции с внешними профессиональными структурами. Представленная модель будет применена как основа для разработки цифровой платформы автоматизированного распределения студентов по организациям для прохождения производственной практики.

Представленные результаты будут применены для при разработке и оптимизации информационной системы автоматизированного распределения, в том числе, в задачах управления потоками в образовательной и производственной сферах и их взаимодействия. Перспективным направлением дальнейших исследований будет интеграция адаптивных методов и методов машинного обучения в рассматриваемую модель, а также масштабирование решения для обработки больших данных в реальном времени.

***Примечание**: В процессе подготовки статьи использовались инструменты искусственного интеллекта, в том числе языковая модель GPT-4, предоставляемая OpenAI. Модель использовалась исключительно для помощи в редактировании текста и структурировании научного изложения* [22].

Литература

1. Balakayeva G.T., Ezhichelvan P., Tursynkozha M.K. Analysis, research and development of an innovative enterprise digitalization system for remote work // International Journal of Mathematics and Physics. - 2022. - Vol.13(1). - P.19-29. DOI 10.26577/ijmph.2022.v13.i1.02.

2. Дворяткина С.Н., Прокуратова О.Н. Марковские процессы и простейшие модели теории массового обслуживания. - М.: ФЛИНТА, 2019. - 80 с. ISBN 978-5-9765-4828-2.

3. Massyrova I., Joldasbayev O., Joldasbayev S., Bolysbek A., Mambetov S. Automation of the system for industrial practice and internships for students in organizations outside of the university // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physico-Mathematical Series. – 2025. – № 1. – P.168–184. DOI 10.32014/2025.2518-1726.332.

4. Самусевич Г. Моделирование процессов функционирования СМО. Учебное пособие для вузов. - Litres, 2021. - 112 с. ISBN: 9785534142556.

5. Кузнецова И.А. Дистанционное обучение как система массового обслуживания // Вестник евразийской науки.-2011.-№2(7).http://naukovedenie.ru.- Дата обращения: 03.03.2025).

6. Лобашев В.Д. Элементы системы массового обслуживания в управлении учебным процессом // Проблемы современного педагогического образования. - 2023. - № 78-1.-С.226-229.

7. Mukherjee A., De D., Buyya R. Cloud Computing Resource Management // In: book:Resource Management in Distributed Systems.– Singapore: Springer, 2024.-P.17-37. DOI 10.1007/978-981-97-2644-8_2.

8. Joldasbayev S., Balakayeva G., Joldasbayev O. Application of load balancing algorithms to improve the quality of service delivery using modifications of the least connections algorithm // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. - 2020. - Vol.98(12). - P.2063–2077. ISSN 1992-8645.

9. Arcinas M.M., Meenakshi M., Bahalkar P.S., Bhaturkar D., Lalar S., Rane K.P., Raghuvanshi A. An efficient course recommendation system for higher education students using machine learning techniques // Bulletin of Electrical Engineering and Informatics.- 2025.-Vol.14(2). - P. 1468–1475. DOI 10.11591/eei.v14i2.7711.

10. Ishii K., Tamaki K. Automation in Education/Learning Systems // In: Nof S. (ed.) Springer Handbook of Automation. Springer Handbooks. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2009. – P.1503–1527. DOI 10.1007/978-3-540-78831-7_85.

11. Aldiab A., Chowdhury H., Kootsookos A., Alam F., Allhibi H. Utilization of Learning Management Systems (LMSs) in higher education system: A case review for Saudi Arabia // Energy Procedia.- 2019. -Vol. 160. -P.731-737. DOI 10.1016/j.egypro.2019.02.186.

12. Rabiman R., Nurtanto M., Kholifah N. Design and Development E-Learning System by Learning Management System (LMS) in Vocational Education // Online Submission. – 2020. – Vol.9(1). - P.1059-1063.

13. Juhaňák L., Zounek J., Rohlíková L. Using process mining to analyze students' quiz-taking behavior patterns in a learning management system // Computers in Human Behavior.- 2019. - Vol.92. - P. 496-506. DOI 10.1016/j.chb.2017.12.015.

14. Chick R.C., Clifton G.T., Peace K.M., Propper B.W., Hale D.F., Alseidi A.A., Vreeland T.J. Using technology to maintain the education of residents during the COVID-19 pandemic // Journal of Surgical Education. - 2020. - Vol.77(4). - P.729-732. DOI 10.1016/j.jsurg.2020.03.018.

15. Frolova M.A., Razumova T.A. The use of process approach to base the need of automation of business processes in educational institutions // AIP Conference Proceedings. - 2017. - Vol.1797(1). - P. 040004-1–040004-8. DOI 10.1063/1.4972460.

16. Eriksen S.D. TQM and the transformation from an élite to a mass system of higher education in the UK//Quality Assurance in Education.-1995.-Vol.3(1).-P.14–29.DOI 10.1108/09684889510146795.

17. Pham D.T., Jaaron A.A.M. Design for Mass Customisation in Higher Education: a Systems-Thinking Approach // Systemic Practice and Action Research. - 2018. -Vol.31. - P.293-310. DOI 10.1007/s11213-017-9426-7.

18. Dabirian S., Abbaspour S., Khanzadi M., Ahmadi M. Dynamic modelling of human resource allocation in construction projects // International Journal of Construction Management. - 2019. - Vol.22(2). - P.182-191. DOI 10.1080/15623599.2019.1616411.

19. Brudner A., Gavious A. A dynamic model of investment in research and teaching facilities in academic institutions // Annals of Operations Research. - 2024.-Vol.343.-P.67-85. DOI 10.1007/s10479-024-06232-w.

20. Ly O.R., Boko U.H.S., Gueye K., Ouya S. Proposal of a Dynamic Resource Allocation Solution for Virtual Classroom Platforms // In: Auer M., Hortsch H., Sethakul P. (eds) The Impact of the 4th Industrial Revolution on Engineering Education. ICL 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing. – Cham: Springer, 2020. – Vol.1135. - P. 59-68. DOI 10.1007/978-3-030-40271-6_7.

21. Donyina A. Stochastic Modelling and Simulation of Dynamic Resource Allocation // In: Ehrig H., Rensink A., Rozenberg G., Schürr A. (eds) Graph Transformations. ICGT 2010. Lecture Notes in Computer Science. – Berlin, Heidelberg: Springer.- 2010.-Vol.6372. - P.388-390. DOI 10.1007/978-3-642-15928-2_28.

22. OpenAI. ChatGPT (GPT-4) Language Model. OpenAI. - 2023. - URL: https://chat.openai.com. Intended use: language editing and grammar checking. GPT-4. Модель использовалась исключительно для помощи в редактировании текста и структурировании научного изложения .- Дата обращения: 06.10.2025.

References

1. Balakayeva G.T., Ezhichelvan P., Tursynkozha M.K. Analysis, research and development of an innovative enterprise digitalization system for remote work // International Journal of Mathematics and Physics. - 2022. - Vol.13(1). - P.19-29. DOI 10.26577/ijmph.2022.v13.i1.02.

2. Dvorjatkina S.N., Prokuratova O.N. Markovskie processy i prostejshie modeli teorii massovogo obsluzhivanija. - M.: FLINTA, 2019. - 80 s. ISBN 978-5-9765-4828-2. [in Russian]

3. Massyrova I., Joldasbayev O., Joldasbayev S., Bolysbek A., Mambetov S. Automation of the system for industrial practice and internships for students in organizations outside of the university // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physico-Mathematical Series. – 2025. – № 1. – P.168–184. DOI 10.32014/2025.2518-1726.332.

4. Samusevich G. Modelirovanie processov funkcionirovanija SMO. Uchebnoe posobie dlja vuzov. - Litres, 2021. - 112 c. ISBN: 9785534142556. [in Russian]

5. Kuznecova I.A. Distancionnoe obuchenie kak sistema massovogo obsluzhivanija // Vestnik evrazijskoj nauki.-2011.-№2(7).http://naukovedenie.ru.- Data obrashhenija: 03.03.2025). [in Russian]

6. Lobashev V.D. Jelementy sistemy massovogo obsluzhivanija v upravlenii uchebnym processom // Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovanija. - 2023. - № 78-1.-C.226-229. [in Russian]

7. Mukherjee A., De D., Buyya R. Cloud Computing Resource Management // In: book:Resource Management in Distributed Systems.– Singapore: Springer, 2024.-P.17-37. DOI 10.1007/978-981-97-2644-8_2.

8. Joldasbayev S., Balakayeva G., Joldasbayev O. Application of load balancing algorithms to improve the quality of service delivery using modifications of the least connections algorithm // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. - 2020. - Vol.98(12). - P.2063–2077. ISSN 1992-8645.

9. Arcinas M.M., Meenakshi M., Bahalkar P.S., Bhaturkar D., Lalar S., Rane K.P., Raghuvanshi A. An efficient course recommendation system for higher education students using machine learning techniques // Bulletin of Electrical Engineering and Informatics.- 2025.-Vol.14(2). - P. 1468–1475. DOI 10.11591/eei.v14i2.7711.

10. Ishii K., Tamaki K. Automation in Education/Learning Systems // In: Nof S. (ed.) Springer Handbook of Automation. Springer Handbooks. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2009. – P.1503–1527. DOI 10.1007/978-3-540-78831-7_85.

11. Aldiab A., Chowdhury H., Kootsookos A., Alam F., Allhibi H. Utilization of Learning Management Systems (LMSs) in higher education system: A case review for Saudi Arabia // Energy Procedia.- 2019. -Vol. 160. -P.731-737. DOI 10.1016/j.egypro.2019.02.186.

12. Rabiman R., Nurtanto M., Kholifah N. Design and Development E-Learning System by Learning Management System (LMS) in Vocational Education // Online Submission. – 2020. – Vol.9(1). - P.1059-1063.

13. Juhaňák L., Zounek J., Rohlíková L. Using process mining to analyze students' quiz-taking behavior patterns in a learning management system // Computers in Human Behavior.- 2019. - Vol.92. - P. 496-506. DOI 10.1016/j.chb.2017.12.015.

14. Chick R.C., Clifton G.T., Peace K.M., Propper B.W., Hale D.F., Alseidi A.A., Vreeland T.J. Using technology to maintain the education of residents during the COVID-19 pandemic // Journal of Surgical Education. - 2020. - Vol.77(4). - P.729-732. DOI 10.1016/j.jsurg.2020.03.018.

15. Frolova M.A., Razumova T.A. The use of process approach to base the need of automation of business processes in educational institutions // AIP Conference Proceedings. - 2017. - Vol.1797(1). - P. 040004-1–040004-8. DOI 10.1063/1.4972460.

16. Eriksen S.D. TQM and the transformation from an élite to a mass system of higher education in the UK//Quality Assurance in Education.-1995.-Vol.3(1).-P.14–29.DOI 10.1108/09684889510146795.

17. Pham D.T., Jaaron A.A.M. Design for Mass Customisation in Higher Education: a Systems-Thinking Approach // Systemic Practice and Action Research. - 2018. -Vol.31. - P.293-310. DOI 10.1007/s11213-017-9426-7.

18. Dabirian S., Abbaspour S., Khanzadi M., Ahmadi M. Dynamic modelling of human resource allocation in construction projects // International Journal of Construction Management. - 2019. - Vol.22(2). - P.182-191. DOI 10.1080/15623599.2019.1616411.

19. Brudner A., Gavious A. A dynamic model of investment in research and teaching facilities in academic institutions // Annals of Operations Research. - 2024.-Vol.343.-P.67-85. DOI 10.1007/s10479-024-06232-w.

20. Ly O.R., Boko U.H.S., Gueye K., Ouya S. Proposal of a Dynamic Resource Allocation Solution for Virtual Classroom Platforms // In: Auer M., Hortsch H., Sethakul P. (eds) The Impact of the 4th Industrial Revolution on Engineering Education. ICL 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing. – Cham: Springer, 2020. – Vol.1135. - P. 59-68. DOI 10.1007/978-3-030-40271-6_7.

21. Donyina A. Stochastic Modelling and Simulation of Dynamic Resource Allocation // In: Ehrig H., Rensink A., Rozenberg G., Schürr A. (eds) Graph Transformations. ICGT 2010. Lecture Notes in Computer Science. – Berlin, Heidelberg: Springer.- 2010.-Vol.6372. - P.388-390. DOI 10.1007/978-3-642-15928-2_28.

22. OpenAI. ChatGPT (GPT-4) Language Model. OpenAI. - 2023. * URL: https://chat.openai.com. Intended use: language editing and grammar checking. *GPT-4* The model was used exclusively to assist in editing the text and structuring the scientific presentation (accessed: 06.10.2025).

Сведения об авторах

Масырова И. - магистр, ассистент-профессор, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан, e-mail: i.massyrova@iitu.edu.kz;

Джолдасбаев С.К. - магистр, ассистент-профессор, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан, e-mail: s.joldasbayev@iitu.edu.kz;

Гизатуллина А.Р. - студент 4-курса, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан, e-mail: gizatullina.alyana@mail.ru;

Жанадилов М.Ж. - студент 4-курса, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан, e-mail: madiyar20032009@gmail.com;

Джолдасбаев О.К. PhD, старший преподаватель филиала академии государственного управления при Президенте РК по Алматинской области, Конаев, Казахстан, e-mail: orynbassarjoldasbayev@gmail.com;

Орманбекова А.А. – PhD, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: a.ormanbekova@atu.edu.kz;

Мамбетов С.Т. – магистр технических наук,Университет «Туран», Алматы, Казахстан, e-mail: s.mambetov@turan-edu.kz;

Information about the authors

Massyrova I. - Master, Assistant Professor, International IT University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: i.massyrova@iitu.edu.kz;

Joldasbayev S. - MSc, Assistant Professor, International IT University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: s.joldasbayev@iitu.edu.kz;

Gizatullina A. - Student, International IT University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: gizatullina.alyana@mail.ru;

Zhanadilov M. - Student, International IT University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: madiyar20032009@gmail.com;

Joldasbayev O. - PhD, Senior Lecturer of the branch of the Academy of Public Administration under the president of the Republic of Kazakhstan in Almaty region, Konayev, Kazakhstan, e-mail: orynbassarjoldasbayev@gmail.com;

Ormanbekova A. - PhD, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: a.ormanbekova@atu.edu.kz;

Mambetov S.- Master of Technical Sciences, , Turan University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: s.mambetov@turan-edu.kz.

ҒТАМР 50.13.13 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1273**

SLM ӘДІСІМЕН ҮШ ӨЛШЕМДІ ОБЪЕКТІНІ ҚАЛЫПТАСТЫРУ ПРОЦЕСІН АВТОМАТТАНДЫРУҒА АРНАЛҒАН БАҒДАРЛАМАЛЫҚ-ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРЫЛҒЫЛАР

[1]А.Д. Тулегулов, [1]К.М. Акишев, [1]А.М. Джумагалиева, [2]М.А. Байжарикова, [2]С.М. Исаев

[1]Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[2]М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан

Корреспондент-автор: akmail04cx@mail.ru

Қазіргі жағдайда автоматтандырылған бағдарламаланатын автономды өндірістік жүйелерді құру қажеттілігі әсіресе әскери және далалық инженерлік бөлімшелер үшін өзекті болып отыр. Дәстүрлі селективті лазерлік балқыту қондырғылары (SLM), алынған өнімдердің жоғары дәлдігі мен сапасына қарамастан, дизайнның күрделілігіне, компоненттердің қымбаттығына және қоршаған орта параметрлеріне жоғары сезімталдыққа байланысты зертханалық жағдайлардан тыс жұмыс істеуге жарамсыз. Осыған байланысты мақалада SLM әдісімен үш өлшемді объектіні қалыптастыру процесін автоматтандыру үшін бағдарламалық-техникалық құралдарды зерттеу мақсаты қойылған. Бұл өз кезегінде шектеулі ресурстар мен мамандандырылған Инфрақұрылым болмаған жағдайда металл бөлшектерін қалпына келтіруді және өндіруді қамтамасыз етуге қабілетті далалық және әскери жағдайларда пайдалануға бағытталған қосымша қондырғыны одан әрі құру үшін жағдай жасайды.

Түйін сөздер: бағдарламалау, аддитивті технологиялар, Автоматтандыру, алгоритм, ұнтақ, G-code.

ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНОГО ОБЪЕКТА МЕТОДОМ SLM

[1]А.Д. Тулегулов, [1]К.М. Акишев, [1]А.М. Джумагалиева, [2]М.А. Байжарикова, [2]С.М. Исаев

[1]Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, Астана, Казахстан,
[2]Таразский университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан,
e-mail: akmail04cx@mail.ru

В современных условиях необходимость создания автоматизированных программируемых автономных производственных систем становится особенно актуальной для военных и полевых инженерных подразделений. Традиционные установки селективного лазерного плавления (SLM), несмотря на высокую точность и качество получаемых изделий, практически непригодны для эксплуатации вне лабораторных условий из-за сложности конструкции, дороговизны компонентов и высокой чувствительности к параметрам среды. В связи с этим в статье поставлена цель исследовать программно-технические средства для автоматизации процесса формирования трехмерного объекта методом SLM. Это в свою очередь обеспечит условия для создания в дальнейшем аддитивной установки, ориентированной на использование в полевых и военных условиях, способную обеспечивать восстановление и изготовление металлических деталей в условиях ограниченных ресурсов и отсутствия специализированной инфраструктуры.

Ключевые слова: программирование, аддитивные технологии, автоматизация, алгоритм, порошок, G-code.

SOFTWARE AND TECHNICAL DEVICES FOR AUTOMATING THE PROCESS OF FORMING A THREE-DIMENSIONAL OBJECT USING THE SLM METHOD

[1]A.D. Tulegulov, [1]K.M. Akishev, [1]A.M. Jumagaliyeva, [2]M.A. Baizharikova, [2]S.M. Issayev

[1]K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
[2]M.Kh. Dulati Taraz University, Taraz, Kazakhstan,
e-mail:akmail04cx@mail.ru

In modern conditions, the need to create automated, programmable, and autonomous production systems is becoming particularly relevant for military and field engineering units. Traditional selective laser melting (SLM) systems, despite their high accuracy and quality, are practically unsuitable for use outside of laboratory settings due to their complex design, expensive components, and sensitivity to environmental parameters. Therefore, this article aims to explore software and hardware solutions for automating the process of creating three-dimensional objects using SLM. This, in turn, will provide the conditions for the further development of an additive manufacturing system designed for use in field and military environments, capable of restoring and manufacturing metal parts in the face of limited resources and a lack of specialized infrastructure.

Key words. programming, additive technologies, automation, algorithm, powder, G-code.

Кіріспе. Қазіргі жағдайда автоматтандырылған бағдарламаланатын автономды өндірістік жүйелерді құру қажеттілігі әсіресе әскери және далалық инженерлік бөлімшелер үшін өзекті болып отыр. Дәстүрлі селективті лазерлік балқыту қондырғылары (SLM), алынған өнімдердің жоғары дәлдігі мен сапасына қарамастан, дизайнның күрделілігіне, компоненттердің қымбаттығына және қоршаған орта параметрлеріне жоғары сезімталдыққа байланысты зертханалық жағдайлардан тыс жұмыс істеуге жарамсыз [1]. Осыған байланысты мақалада SLM әдісімен үш өлшемді объектіні қалыптастыру процесін автоматтандыру үшін бағдарламалық-техникалық құралдарды зерттеу мақсаты қойылған. Бұл өз кезегінде шектеулі ресурстар мен мамандандырылған Инфрақұрылым болмаған жағдайда металл бөлшектерін қалпына келтіруді және өндіруді қамтамасыз етуге қабілетті далалық және әскери жағдайларда пайдалануға бағытталған қосымша қондырғыны одан әрі құру үшін жағдай жасайды [2].

Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттерді шешу қажет:

1. SLM әдісімен үш өлшемді объектіні қалыптастыру процесін эксперименттік зерттеу нәтижелеріне жүйелі талдау жүргізу.

2. SLM әдісімен үш өлшемді объектіні қалыптастыру процесін автоматтандыру үшін бағдарламалық-техникалық құрылғыларды әзірлеу.

3. Инновациялық бағдарламалық-техникалық шешімдерді ескере отырып, аддитивті қондырғының прототипін негіздеу

Материалдар мен әдістер. Біз SLM әдісімен үш өлшемді объектілерді қабаттастыру процесін эксперименттік зерттеу нәтижелеріне талдау жасадық, олардың негізінде түйіршіктері еркін пішінді және 3D басып шығару процесі түйіршіктердің қаптамасының тығыздығын бұзатын және лазерлік энергияның фокус нүктесінде металл ұнтағының көлемдік шөгуі мен біркелкі емес балқуы байқалады, бұл басып шығарылатын бөліктің сапасын төмендетеді (сурет.1).

Әдетте іс жүзінде бұл мәселені шешу ұнтақтардың екі түрін қолдану арқылы ұсынылады:

1-еркін нысандағы металл ұнтағы (бұдан әрі-ПФФ);

2-пішіні идеалды сфераға жақын сферитизатормен қосымша өңдеуден өткен металл ұнтағы - сфералық пішінді ұнтақ (бұдан әрі-ПСФ).

Зерттеуде 2 сатыда орындалатын 3D қабатты басып шығару әдісі қолданылды:

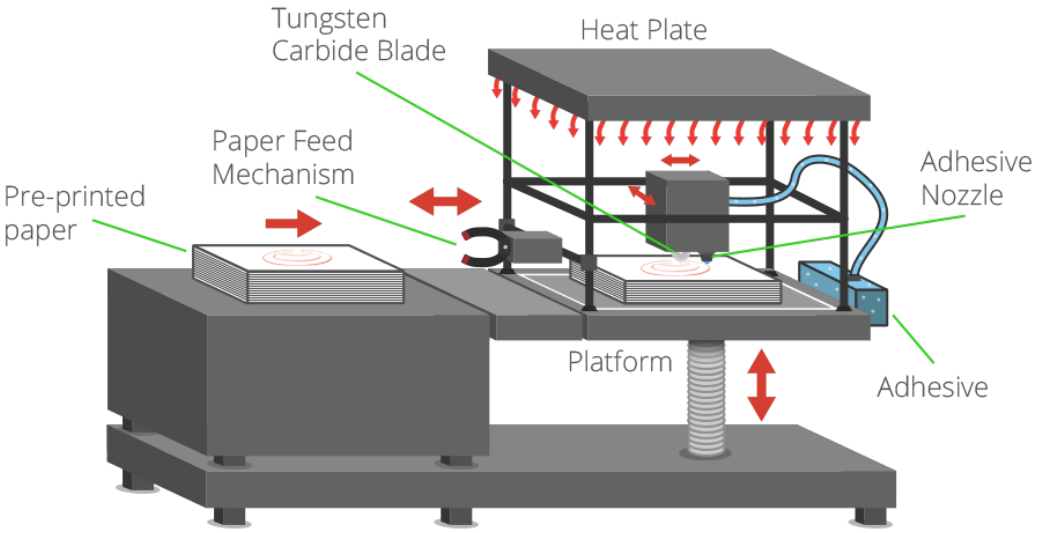
1 кезең-PPF-ті басып шығару бетіне тарату, содан кейін металл ұнтағын іріктеп лазерлік балқыту.

2 кезең-PSF-ті басып шығару бетіне қазірдің өзінде жүргізілген таңдамалы лазерлік балқытумен, қайталама таңдамалы лазерлік балқытумен тарату.

Бірінші кезеңде объектінің негізгі қабаты қалыптасады. Ұнтақ түрінің еріктілігіне байланы-

сты түйіршіктердің бос қаптамасы пайда болады, ал лазерлік сәулемен өңдеу орындарында шөгу пайда болады [3].

Екінші кезеңде PSF түсуі пайда болған орындар толтырылады. Ұнтақтың пішініне байланысты идеалды PSF сферасына жақын, сондай-ақ PSF түйіршіктерінің радиусы бірдей болғандықтан, шөгу орындарында тараған кезде тығыз толтыру пайда болады. Лазермен өңдеу кезінде PFS іс жүзінде кішіреймейді [4].



1-сурет. Селективті лазерлік балқытуды орнату (SLM)

Осылайша, металл ұнтағы формасының еріктілігі өтеледі. Екі кезеңді орындау нәтижесінде объект ақаусыз басып шығарылады.

Сфералық және еркін пішінді қолдана отырып, селективті лазерлік балқыту әдісімен үш өлшемді объектіні синтездеу әдісінің техникалық нәтижесіне басып шығару бетіне ұнтақ таратқыштардың екі контейнерін қолдану арқылы қол жеткізіледі.

Бұл әдіске Рег өнертабысына Патент алуға өтінім берілді. өтінім нөмірі 2025/0348.1, 16.04.2025 ж. сфералық және еркін пішінді металл ұнтақтарын қолдана отырып, селективті лазерлік балқыту әдісімен үш өлшемді объектіні синтездеу тәсілі.

Нәтижелер мен талқылаулар. Нәтижесінде, осы ғылыми мақалада біз металл ұнтағының пішінінің сфералық емес және гетерогенділігінің баспа сапасына әсерін өтеуге арналған бағдарламалық-техникалық құрылғыларды ұсынамыз [5].

Бастапқыда, зерттеу бағытына сәйкес, аддитивті қондырғы Төтенше жағдайлар мен соғыс жағдайларын қанағаттандыруы керек деп болжануда, сондықтан біз стандартты аддитивті қондырғылардың функционалдығының техникалық дизайнына талдау жасадық, нәтижесінде оларды далада қолдануға кедергі келтіретін екі негізгі проблема анықталды:

1) басып шығару камерасына металл ұнтағын берудің дәл механикасына тәуелділік;

2) Дайын бөлікті шығарудың және платформаны келесі циклге дайындаудың қиындығы.

Бірінші мәселе дәстүрлі SLM қондырғыларының ұнтақты дәл жеткізуге тәуелділігіне байланысты. Қабатты қалыптастыру цилиндрлер мен ұнтақты тарату жүйесін қолдану арқылы жүреді, бұл ұнтақтың ондаған микронға дейін біркелкі таралуын қамтамасыз етеді.

Екінші мәселе басып шығару циклін аяқтау процесінің шектеулеріне байланысты. Өнімді қалыптастырғаннан кейін көп сатылы операция қажет: бөлшекті байланыссыз ұнтақтан тазарту, оны платформадан ұқыпты бөлу (көбінесе

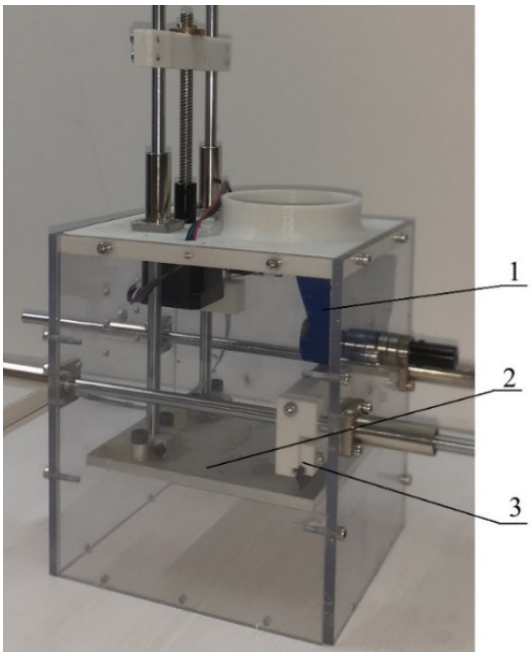
электр эрозиясын немесе гауһар кесуді қолдану), сондай-ақ платформаның бетін міндетті түрде фрезерлеу. Себебі платформада қалдық балқымалар, термиялық деформациялар пайда болады, бұл оны қосымша механикалық өңдеусіз қайта пайдалануға жол бермейді [6].

Ұнтақ қабатын қалыптастырудың балама тәсілдерін іздеу аясында сусымалы ортаға тән физикалық принциптерді қолдану мүмкіндігі қарастырылды. Өздігінен құю процесінде ұнтақтар табиғи беткейге тән бұрышы бар тұрақты бетті құрайтыны белгілі. Мұндай бет қолданылатын материалдың пішініне, массасына және динамикасына автоматты түрде бейімделіп, өзін-өзі тегістеу және бейімделу тұрақтандыру қабілетін көрсетеді. Бұл механикалық бөлімге, фрезерлеуге немесе негізді туралауға жүгінбестен металды жағуға және балқытуға болатын ашық борпылдақ жастықтың пайдасына жаппай қатты платформадан бас тартуға мүмкіндік береді [7].

Осы негізде инновациялық шешімдер кешені ұсынылды: ”толып кету және өзін-өзі теңестіру”қағидаты бойынша мөлшерлеу. Ұсынылған шешімдер қарапайымдылықты, жөндеуге жарамдылықты және далалық пайдалану үшін маңызды шығындарды сақтай отырып, тығыздық пен қайталануды арттыруға бағытталған.

Бұл тәсіл ұнтақтардың екі түрін қолдануды техникалық іске асыруды жеңілдетеді: еркін пішінді металл ұнтағы (бұдан әрі-пфф) және сфералық пішінді ұнтақ (бұдан әрі-ПФФ). Ашық бетті басып шығару PPF және PSF бөлек сақтау сыйымдылықтарын ұнтақты тегістеу жүйесіне біріктіруді айтарлықтай жеңілдетеді.

Жоғарыда сипатталған технологияны пысықтау үшін контейнерді әртүрлі сортты металл ұнтақтарымен біріктіру мүмкіндігін анықтау үшін зертханалық қондырғы жасалды, онда ашық көлденең бетке басып шығару мүмкіндігі тексерілді (сурет.2).



2-сурет. Қабатты механизмді өңдеуге арналған зертханалық қондырғы ашық көлденең бетінде ұнтақ материал қалыптастыру

1-металл ұнтағы контейнері; 2-ашық көлденең беті; 3-ұнтақты тегістеуге арналған қырғыш

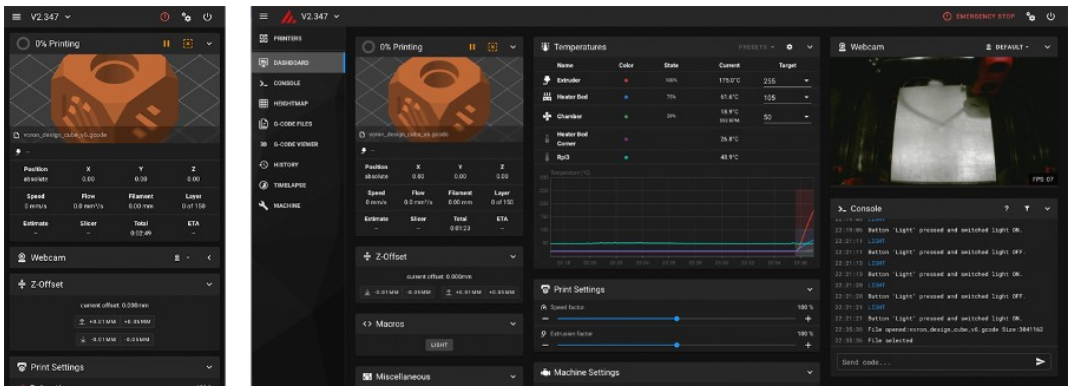
Экструзия және лазерлік балқу процестерінің физикалық және логикалық ұқсастығы бар микробағдарламаларды макростар арқылы өзгерту, G-code командаларын қайта бөлу және экструдерді лазерлік модульге ауыстыру үшін конфигурацияларды қайта конфигурациялау арқылы пайдалануға мүмкіндік береді [8]. Бұл тәсіл дәлелденген архитектуралар мен жоспарлау алгоритмдерін қайта пайдалануды қамтамасыз етеді (сурет.3)

```
;Layer count: 121
;LAYER:0
GO F3600 X66.354 Y67.539 Z0.300
;TYPE:SKIRT
G1 F1200 X99.570 Y97.539 E0.45381
G1 X99.743 Y97.444 E0.42765
G1 X100.546 Y67.324 E0.46545
```

```
G1 X101.657 Y77.674 E0.47685
G1 X102.573 Y97.564 E0.42789
G1 X103.745 Y97.235 E0.48765
G1 X104.456 Y97.546 E0.52345
G1 X105.756 Y97.436 E0.67845
G1 X106.564 Y97.476 E0.59876
G1 X107.856 Y97.657 E0.87659
G1 X108.763 Y97.239 E0.67657
G1 X109.743 Y97.876 E0.34267
G1 X110.943 Y97.435 E0.87986
G1 X111.563 Y97.438 E0.54876
G1 X112.793 Y97.476 E0.65876
G1 X113.123 Y97.487 E0.76889
G1 X114.983 Y97.498 E0.65987
```

3 - сурет. G-Code қолдану фрагменті

Marlin, Repetier және Smoothieware сияқты танымал микробағдарламаларды талдау олардың селективті лазерлік балқыту сияқты күрделі технологиялық процестерді басқаруға арналмағанын көрсетті. Бұл жүйелер бастапқыда термопластикалық басып шығару үшін жасалған және көбінесе олардың архитектурасымен шектелген: қатаң берілген логика, кеңейтудің минималды мүмкіндіктері, сыртқы жетектерге әлсіз қолдау. Сонымен қатар, SLM үшін басқарудың басқа деңгейі қажет: траекторияларды дәл есептеу, лазерлік Қуат модуляциясымен жұмыс істеу, ұнтақтардың екі түрін беру және тегістеу түйіндерімен синхрондау. Осыған байланысты Klipper ортасы таңдамалы лазерлік балқытудың аддитивті қондырғысын жасау үшін негізгі бағдарламалық платформа ретінде таңдалды. Klipper микробағдарламасы негізінде басқарылатын селективті лазерлік балқыту қондырғысының прототипін енгізу ұсынылған архитектураның өнімділігін растады [9].



4-сурет. Mainsail веб-интерфейсі

Klipper-бұл көптеген 3D басып шығарумен жұмыс істейтін әмбебап микробағдарлама. Klipper қолданыстағы микробағдарламаның үстіне орнатылмағандықтан, онымен жұмыс істеу үшін оны толығымен klipper микробағдарламасымен ауыстыру қажет.

Желілік интерфейстер арқылы басқару

Mainsail және Fluidd - бұл Klipper-мен жұмыс

істеу үшін арнайы жасалған ашық бастапқы веб-интерфейстер [10]. OctoPrint-ті қолдануға болатынына қарамастан, егер ол сізге таныс болса, Mainsail және Fluidd пайдаланушыға OctoPrint-те қол жетімді емес қосымша мүмкіндіктер береді.Mainsail. Mainsail веб-интерфейсі осылай көрінеді (сурет.4).

Klipper-ді Linux отбасылық ОЖ басқаратын көптеген құрылғыларға орнатуға болады. Орнату және жұмыс істеу үшін Raspberry Pi микрокомпьютерлерін пайдалануға болады, бұл Klipper пайдаланушылары, сондай-ақ Orange Pi, Beaglebone немесе тіпті жұмыс үстелі компьютерлері арасында ең танымал таңдау [11].

Шын мәнінде, аталған типтегі кез-келген құрылғы нарықта бар кез-келген ашық сатылымдағы 3D принтермен жұмыс істеуі керек. Жабық жүйесі бар меншікті құрылғылардан басқа.

Қорытынды. Қорытындылай келе, қойылған мақсатқа қол жеткізілгенін атап өтуге болады. SLM әдісімен үш өлшемді объектіні қалыптастыру процесінің эксперименттік зерттеулерінің нәтижелеріне жүйелі талдау жүргізу, осындай міндеттер шешілді. SLM әдісімен үш өлшемді нысанды қалыптастыру процесін автоматтандыру үшін бағдарламалық-техникалық құрылғылар да әзірленді. Бұл өте маңызды инновациялық бағдарламалық-техникалық шешімдерді ескере отырып, аддитивті қондырғының прототипін әзірлеу үшін негіздеме берілді.

Қаржыландыру. *Бұл зерттеуді ғылым және жоғары білім комитеті қаржыландырады (№AP23490424 ”Қорғаныс өнеркәсібі үшін металл нысандарын жасау үшін аддитивті қондырғыны әзірлеу”.)*

Әдебиеттер

1. Тулегулов А.Д., Юрков Н.К. Аддитивные технологии для создания металлических объектов для военной техники и вооружения//Вестник Академии национальной гвардии Республики Казахстан. - 2024. - № 3(53). - С.151-157.

2. K. Akishev, Zh. Nurtai, L. Akisheva. Automation of selection of construction mix with additives of technogenic raw materials//Вестник КазУТБ. - 2025. - №1 (26). - С.1-14. DOI 10.58805/kazutb.v.1.26-808.

3. Зорин В.А., Полухин Е.В. Аддитивные технологии. Перспективы применения аддитивных технологий при производстве дорожно-строительных машин // Строительная техника и технологии. - 2016. - №3 (119). - С. 54-57.

4. Шевченко Д.Ю. Аддитивные технологии в машиностроении // Комплексные проблемы развития науки, образования и экономики региона: Научно-практический журнал Коломенского института (филиала) МГМУ (МАМИ). - 2015. - № 2 (7). - С.89-97.

5. Сироткин О.С. Современное состояние и перспективы развития аддитивных технологий // Авиационная промышленность. - 2015. - № 2. - С.22-25.

6. Смуров И.Ю., Конов С.Г., Котобан Д.В. О внедрении аддитивных технологий и производства в отечественную промышленность // Новости материаловедения. Наука и техника. - 2015. - № 2. - С.11-22.

7. Советников Е.И. Оценки развития аддитивных технологий // Технология легких сплавов. - 2015. - № 3. - С.17-31.

8. Дьячков В.Н., Баринов А.Ю., Никитин К.В. Применение аддитивных технологий в производстве литых изделий // Литейное производство. - 2016. - № 5. - С.30-32.

9. Аббасов А.Э. Перспективы развития аддитивных технологий // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. - 2015. - № 5-1. - С.21-26.

10. Кузнецов П.А., Васильева О.В., Теленков А.И., Савин В.И., Бобырь В.В. Аддитивные технологии на базе металлических порошковых материалов для российской промышленности // Новости материаловедения. Наука и техника. - 2015. - № 2. - С.4-10.

11. Чумаков Д.М. Перспективы использования аддитивных технологий при создании авиационной и ракетно-космической техники // Труды МАИ. - 2014. - № 78. - С.31-36.

References

1. Tulegulov A.D., Jurkov N.K. Additivnye tehnologii dlja sozdanija metallicheskih ob#ektov dlja voennoj tehniki i vooruzhenija//Vestnik Akademii nacional' noj gvardii Respubliki Kazahstan. - 2024. - № 3(53). - S.151-157. [in Russian]

2. K. Akishev, Zh. Nurtai, L. Akisheva. Automation of selection of construction mix with additives of technogenic raw materials//Vestnik KazUTB. - 2025. - №1 (26). - S.1-14. DOI 10.58805/kazutb.v.1.26-808. [in Russian]

3. Zorin V.A., Poluhin E.V. Additivnye tehnologii. Perspektivy primenenija additivnyh tehnologij pri proizvodstve dorozhno-stroitel' nyh mashin // Stroitel' naja tehnika i tehnologii. - 2016. - №3 (119). - S.54-57. [in Russian]

4. Shevchenko D.Ju. Additivnye tehnologii v mashinostroenii // Kompleksnye problemy razvitija nauki, obrazovanija i jekonomiki regiona: Nauchno-prakticheskij zhurnal Kolomenskogo instituta (filiala) MGMU (MAMI). - 2015. - № 2 (7). - S.89-97. [in Russian]

5. Sirotkin O.S. Sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitija additivnyh tehnologij // Aviacionnaja promyshlennost'. - 2015. - № 2. - S.22-25. [in Russian]

6. Smurov I.Ju., Konov S.G., Kotoban D.V. O vnedrenii additivnyh tehnologij i proizvodstva v otechestvennuju promyshlennost' // Novosti materialovedenija. Nauka i tehnika. - 2015. - № 2. - S.11-22. [in Russian]

7. Sovetnikov E.I. Ocenki razvitija additivnyh tehnologij // Tehnologija legkih splavov. - 2015. - № 3. - S.17-31. [in Russian]

8. D' jachkov V.N., Barinov A.Ju., Nikitin K.V. Primenenie additivnyh tehnologij v proizvodstve lityh izdelij // Litejnoe proizvodstvo. - 2016. - № 5. - S.30-32. [in Russian]

9. Abbasov A.Je. Perspektivy razvitija additivnyh tehnologij // Informacionnye tehnologii. Radiojelektronika. Telekommunikacii. - 2015. - № 5-1. - S.21-26. [in Russian]

10. Kuznecov P.A., Vasil' eva O.V., Telenkov A.I., Savin V.I., Bobyr' V.V. Additivnye tehnologii na baze metallicheskih poroshkovyh materialov dlja rossijskoj promyshlennosti // Novosti materialovedenija. Nauka i tehnika. - 2015. - № 2. - S.4-10. [in Russian]

11. Chumakov D.M. Perspektivy ispol' zovanija additivnyh tehnologij pri sozdanii aviacionnoj i raketno-kosmicheskoj tehniki // Trudy MAI. - 2014. - № 78. - S.31-36. [in Russian]

Авторлар туралы мәліметтер

Тулегулов А.Д.- физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: tad62@ya.ru;

Акишев К. М.-техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: akmail04@mail.ru;

Джұмағалиева А.М. -магистр, қауымдастырылған профессор, Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: Dzhum@mail.ru;

Байжарикова М.А. - техника ғылымдарының кандидаты, М. Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан, e-mail: marina.2288@mail.ru;

Исаев С. М. - техника ғылымдарының магистрі, М. Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан, e-mail: sagiissayev.1993kz@gmail.com.

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;

Akishev K.M. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: akmail04@mail.ru;

Jumagaliyeva A.M.- Master' s degree, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: Dzhum@mail.ru;

Baizharikova M. A. - Candidate of Technical Sciences, M.Kh. Dulati Taraz University, Taraz, Kazakhstan, e-mail: marina.2288@mail.ru;

Issayev S. M. - Master of Technical Sciences. M.Kh, Dulati Taraz University, Taraz, Kazakhstan, e-mail: sagiissayev.1993kz@gmail.com.

МРНТИ 20.51.23, 65.33.29 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1261**

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫПЕЧКИ ХЛЕБОБУЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

[1]Т.Т. Дузбаев, [1,2]Т.Ж. Мазаков, [1]Д.О. Байжанова, [1]Ш.А. Джомартова, [1]А.Т. Мазакова, [1]Б.С. Амирханов, [1]Г.А. Амирханова, [3]А.С. Тыныкулова

[1]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
[2]Международный инженерно-технологический университет, Алматы, Казахстан,
[3]Международный университет, Астана, Казахстан

Корреспондент-автор: talgat.duzbaev@mail.ru

Современная цивилизация переживает стремительный рост вычислительных мощностей и повсеместное внедрение цифровых технологий. На этом фоне роботы, интеллектуальные устройства и программные комплексы на базе ИИ становятся ключевыми инструментами не только в быту и промышленности, но и в научных исследованиях. Информатизация активно охватывает и пищевую отрасль: исторически эмпирическая по подходам, она накопила обширные экспериментальные данные, анализ которых сегодня невозможен без методов компьютерного моделирования.

В работе рассматривается управляемость многостадийного процесса изготовления хлебобулочной продукции. Показано, что математическое моделирование способно заменить дорогостоящие и потенциально рискованные эксперименты, а также дает критерий управляемости, реализованный программно.

Ключевые слова: кинетика, математическая модель, пищевая промышленность, управление, хлебобулочная продукция.

НАН-ТОҚАШ ӨНІМДЕРІН ПІСІРУ ПРОЦЕСІН МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

[1]Т.Т. Дузбаев, [1,2]Т.Ж. Мазаков, [1]Д.О. Байжанова, [1]Ш.А. Джомартова, [1]А.Т. Мазакова, [1]Б.С. Амирханов, [1]Г.А. Амирханова, [3]А.С. Тыныкулова

[1]Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]Халықаралық инженерлік-технологиялық университет, Алматы, Қазақстан,
[3]Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail: talgat.duzbaev@mail.ru

Қазіргі өркениет есептеу қуатының қарқынды өсуі мен цифрлық технологиялардың кеңінен енгізілу кезеңін бастан өткеріп отыр. Осы жағдайда роботтар, интеллектуалды құрылғылар және жасанды интеллект негізіндегі бағдарламалық кешендер тек тұрмыста және өндірісте ғана емес, ғылыми зерттеулерде де негізгі құралдарға айналуда. Ақпараттандыру үдерісі тамақ өнеркәсібін де белсенді түрде қамтып келеді: тарихи тұрғыдан эмпирикалық әдістерге сүйенген бұл салада жиналған мол тәжірибелік деректерді бүгінгі таңда компьютерлік модельдеу әдістерінсіз талдау мүмкін емес.

Бұл жұмыста нан-тоқаш өнімдерін өндірудің көпсатылы процесін басқару мәселесі қарастырылған. Математикалық модельдеу қымбат әрі тәуекелі жоғары эксперименттердің орнын баса алатыны және басқарылу критерийін бағдарламалық түрде іске асыруға мүмкіндік беретіні көрсетілген.

Түйін сөздер: кинетика, математикалық модель, тамақ өнеркәсібі, басқару, нан-тоқаш өнімдері, технологиялық процесс, оңтайландыру, сандық модельдеу.

MATHEMATICAL MODELING OF THE BAKING PROCESS IN BREAD AND BAKERY PRODUCTION

[1]T.T. Duzbaev, [1,2]T.Zh. Mazakov, [1]D.O. Baizhanova, [1]Sh.A. Dzhomartova, [1]A.T. Mazakova, [1]B.S. Amirkhanov, [1]G.A. Amirkhanova, [3]A.S. Tynykulova

[1]*al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,*
[2]*Engineering Technological University, Almaty, Kazakhstan,*
[3]*Astana International University, Astana, Kazakhstan,*
e-mail: talgat.duzbaev@mail.ru

Modern civilization is experiencing a rapid increase in computational power and the widespread adoption of digital technologies. Against this background, robots, intelligent devices, and AI-based software systems are becoming key tools not only in everyday life and industry but also in scientific research. Informatization is actively transforming the food industry as well: historically empirical in its approaches, it has accumulated a large amount of experimental data, the analysis of which today is impossible without computer modeling methods.

This paper examines the controllability of the multistage process of bakery production. It is shown that mathematical modeling can replace costly and potentially risky experiments and also provides a controllability criterion implemented in software form.

Keywords: kinetics, mathematical model, food industry, process control, bakery products, technological process, optimization, digital modeling

Введение. Статья посвящена моделированию процессов хлебопечения, описываемых нелинейными ОДУ, характерными для широкого класса систем со сложной динамикой. За последние годы значительно развилась теория управления химико-технологическими процессами и реакторами: моделирование ускоряет разработку новых технологий, помогает выявлять области устойчивых или неустойчивых режимов и подбирать оптимальные управляющие параметры [1].

В практических постановках применяют ОДУ для систем с сосредоточенными параметрами (например, аппараты идеального вытеснения) и уравнения в частных производных для систем с распределёнными параметрами (в частности, кинетика реакций и диффузионный массоперенос) [2].

Технологический цикл хлебобулочного производства включает стадии: 1) расход сырья; 2) замес и брожение; 3) разделка; 4) выпечка; 5) выпуск готовой продукции.

Материалы и методы. В статье рассматривается математическая модель многостадийного процесса изготовления хлебобулочной продукции, которая описывается системой ОДУ и характеризуется следующими параметрами в момент времени t [3-6]: $x_1(t)$ - количество сырья; $x_2(t)$ – количество замешанного теста, находящегося в стадии брожения; $x_3(t)$ - количество теста в стадии разделки; $x_4(t)$ - количество изделий в стадии выпекания; $x_5(t)$- количество готовой продукции в момент времени t.

Переходы между стадиями характеризуются интенсивностями $k_i(u)$, $i = \overline{1,\ 4}$, зависящими от температуры u(t), которая рассматривается как управляющее воздействие.

Введем следующие обозначения: $t_0=0$ - момент времени соответствует началу выпечки, T - время окончания выпечки.

Связь между введенными выше параметрами удовлетворяет следующей системе ОДУ

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= -k_1(u)x_1, \\ \frac{dx_2}{dt} &= k_1(u)x_1 - k_2(u)x_2, \\ \frac{dx_3}{dt} &= k_2(u)x_2 - k_3(u)x_3, \\ \frac{dx_4}{dt} &= k_3(u)x_3 - k_4(u)x_4, \\ \frac{dx_5}{dt} &= k_4(u)x_4, \\ 0 &\le t \le T. \end{aligned} \qquad (1)$$

Для исследования динамики хлебобулочного изготовления примем следующие предположения, которые удовлетворяют естественным ограничениям: 1) температура неотрицательна и не может превышать предельно допустимого значения u_{max} и 2) начальный запас сырья также неотрицателен и не может превышать возможностей склада p_{max}.

Задание определённого режима протекания

технологического процесса позволяет целенаправленно влиять на его кинетику, а также на количественные и качественные характеристики конечного продукта. Управление параметрами процесса, в частности температурой, представляет собой один из ключевых факторов обеспечения его эффективности и стабильности. Температурный режим определяет скорость химических реакций, энергетические затраты и степень преобразования исходных веществ, что делает данный параметр важнейшей управляемой величиной в системе регулирования технологического процесса.

В дальнейшем будем рассматривать случай, при котором температура рассматривается как функция времени и обозначается u(t). Такой подход позволяет учитывать динамический характер процесса и исследовать влияние временных колебаний температуры на кинетические характеристики реакции. Следует отметить, что для любого технологического процесса существует ограниченный диапазон допустимых температурных значений. Абсолютная температура не может опускаться ниже нуля, что обусловлено фундаментальными законами термодинамики. Верхняя граница температурного диапазона определяется технологическими и конструктивными параметрами реактора, включая пределы термостойкости материалов, особенности теплообмена и условия безопасной эксплуатации оборудования.

Таким образом, регулирование температуры в пределах допустимого диапазона является важнейшей задачей оптимизации технологического процесса. Корректный выбор температурного профиля обеспечивает достижение максимальной производительности системы при сохранении её устойчивости, надёжности и энергоэффективности.

Предполагается в момент начала процесса выпекания: 1) нулевая концентрация промежуточного и конечного продуктов и 2) максимальная концентрация исходного сырья. Сделанное предположение в математической формулировке записывается в следующем виде

$$x_1(0) = p,\ x_i(0) = 0,\ i = \overline{2,5}, \qquad (2)$$

где p- имеющийся запас сырья

$$p \in P = \left\{p | 0 \le p \le p_{\max}\right\}$$

Сделанное ранее предположение, что температура в рабочей области аппарата не может быть отрицательной и превосходить некоторого предельного значения, в математической формулировке выглядит следующим образом

$$u \in U = \left\{u | 0 \le u(t) \le u_{\max},\ \forall t \in [0,\ T]\right\} \qquad (3)$$

Математическая формулировка задачи (возможен ли выпуск требуемого количества хлебобулочной продукции z за время T, при ограничениях (2) -(3)) имеет вид

$$x_5(T) = z \qquad (4)$$

На математическом языке поставленная задача формулируется следующим образом: существует ли управление u(t), удовлетворяющее условию (3), и переводящее систему (1) за требуемое время T из начального состояния (2) в желаемое состояние (4).

Обсуждение и результаты. Численное решение задач при конкретных исходных данных.

Для решения поставленной задачи введем следующие обозначения:

$n = 5;\ x = (x_1, ..., x_n);\ x_0 = (p, 0, .., 0), c = (0, .., 0, 1),$

$$f(x,u) = \begin{pmatrix} -k_1(u)x_1 \\ k_1(u)x_1 - k_2(u)x_2 \\ k_2(u)x_2 - k_3(u)x_3 \\ k_3(u)x_3 - k_4(u)x_4 \\ k_4(u)x_4 \end{pmatrix} \qquad (5)$$

Здесь $x, .x_0, c$ -n-мерные векторы, $f(x,u)$ - n-мерная вектор функция.

Тогда перепишем поставленную задачу в общем виде

$$\frac{dx}{dt} = f(x,u) \tag{6}$$

с начальными условиями

$$x(0) = x_0 \tag{7}$$

и конечными условиями в момент времени T

$$cx(T) = z \tag{8}$$

Вектор-функцию (5) перепишем в виде

$$f(x,u) = A(u)x, \tag{9}$$

где элементы n*n-матрицы $A(u)$ зависят от управления u:

$$A(u) = \begin{pmatrix} -k_1(u) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_1(u) & -k_2(u) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_2(u) & -k_3(u) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_3(u) & -k_4(u) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_4(u) & 0 \end{pmatrix} \tag{10}$$

Теперь исходная система (6) описывается линейными дифференциальными уравнениями

$\frac{dx}{dt} = A(u)x$ (10)

Решение системы уравнений (10)-(7) запишем в виде интегрального уравнения:

$$x(t,u,p) = x_0 + \int_0^t A(u) * x(\tau,u,p)d\tau, \tag{11}$$

$t \in [0,T]$, $u \in U$, $p \in P$

Введем обозначения $y(t) = x(t,u,p)$, $f(t) = x_0, \mu = 1, K(t,\tau) = A(u)$. Тогда уравнение (11) можно записать следующим образом

$$y(t) = f(t) + \mu \int_0^t K(t,\tau) * y(\tau)d\tau \tag{12}$$

Уравнение (12) носит название интегрального уравнения Вольтерра второго рода [7, 8].

Теорема 1. Уравнение (11) имеет единственное непрерывное решение при заданных фиксированных значениях параметров $u \in U$, $p \in P$. Это решение может быть найдено методом последовательных приближений.

Доказательство. Т.к. матрица $A(u)$ и вектор начальных условий x_0 при фиксированных значениях параметров u, p являются постоянными, то тем самым выполнены все условия теоремы 1 [7]. Отсюда следует справедливость утверждения теоремы.

Введем оператор Вольтерра

$$\mathrm{By}(t) = \int_0^t K(t,\tau) * y(\tau)d\tau \tag{13}$$

Определим повторные ядра оператора Вольтерра следующим образом:

$$B^m y(t) = \int_0^t K_m(t,\tau) * y(\tau)d\tau$$

$$K_m(t,s) = \int_s^t K(t,\tau)K_m(\tau,s)d\tau \tag{14}$$

$$R(t,s) = \sum_{m=1}^{\infty} K_m(t,s)$$

Пусть $M = \sup_{0 \le t,s \le T} |K(t,s)|$. Тогда для повторных ядер справедливо

$$\left|K_m(t,s)\right| \le \frac{M^m * (t-1)^m}{(n-1)!}$$

Решение уравнения (12) можно записать в следующем виде

$$y(t) = f(t) + \int_0^t R(t,\tau) * f(\tau)d\tau \tag{15}$$

Далее, в силу независимости матрицы $A(u)$ от времени, подставляя $x(t,u,p)$ вместо $y(t)$ из уравнения (15) , получим

$$x(t,u,p) = \left(E + A(u) * t + \frac{1}{2}A(u)^2 * t^2 + ... + \frac{1}{k!}A(u)^k * t^k + ...\right) * x_0 \quad (16)$$

Для достаточно больших k величина $\frac{1}{k!}\left\|A(u)^k * t^k\right\|$ становится малой и $x(t,u,p)$ с требуемой точностью можно записать в виде

$$x(t,u,p) = \left(E + A(u) * t + \frac{1}{2}A(u)^2 * t^2 + ... + \frac{1}{k!}A(u)^k * t^k\right) * x_0 \quad (17)$$

Теорема 2. Для $\forall\varepsilon \geq 0$ $\exists$номерr, такой что для $\forall k > r$ имеет место неравенство $\frac{1}{k!}\left\|A(u)^k * t^k\right\| \leq \varepsilon$.

Доказательство. Обозначим через $a = T * \|A(u)\|$, $a_k = \frac{1}{k!}a^k$. Далее рассмотрим ряд $1 + \sum_{k=1}^{\infty}\frac{a_k}{k!}$. Вычислим $\rho = \lim\limits_{k\to\infty}\frac{a_{k+1}}{a_k}$. В силу введенных обозначений $\rho = \lim\limits_{k\to\infty}\frac{a_{k+1}}{a_k} = \lim\limits_{k\to\infty}\frac{a}{k+1} = 0$. Рассмотренный ряд является сходящимся, т.к. $\rho \leq 1$. Известно, что для любого $\varepsilon \geq 0$ существует номер r, такой что для всех $k > r$ справедливо $\frac{a_{k+1}}{a_k} \leq \rho + \varepsilon$ [9]

Тогда в качестве r можно выбрать $r = \left[\frac{a}{\varepsilon}\right]$ - целую часть от деления. Справедливость утверждения теоремы доказана.

Теорема 3. Система (6)-(8) управляема если для заданных конечных условий z и времени T существуют параметры $u \in U$, $p \in P$ такие, что выполняется равенство $cx(T) = z$.

Доказательство основано на подходе, опубликованном в работе [3]

Выводы. В статье исследована математическая модель многостадийного процесса изготовления хлебобулочной продукции, описываемая ОДУ.

Для интегрального уравнения Вольтерра второго рода, к которому сводится исходная модель, получен аналитический вид решения.

Получен критерий управляемости, который определяет взаимосвязь между температурой, наличием количества сырья в начальный момент, временем выпечки и выпуском требуемого количества хлебобулочной продукции.

Практическая ценность работы состоит в том, что разработанные в ней технология и алгоритмы позволяют решить проблему управляемости объектов различной природы и могут быть применены для исследования электроэнергетических, робототехнических систем и т.д.

Финансирование. *Статья опубликована при поддержке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, в рамках проекта программно-целевого финансирования BR24992975 "Разработка цифрового двойника предприятия пищевой промышленности с применением искусственного интеллекта и технологий IIoT", 2024-2026 гг.*

Литература

1. Соловьев М.Е., Соловьев М.М. Компьютерная химия. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. - 536 с. ISBN 5-98003-188-X.

2. Бакин И.А. Интенсификация процессов смешивания при получении комбинированных продуктов в аппаратах центробежного типа. Автореф.дис. доктор.тех.наук: 05.18.12.- Кемерово, 2009. - 34 с.

3. Мазақова Ә.Т., Шаймерден Б.О., Сейлхан Б.Ж., Мазаков Т.Ж., Джомартова Ш.А. Химиялық реакторды басқару туралы // Материалы VII междунар. научно-практ. конф. «Информатика и прикладная математика».2022, с.14-18. ISBN 978-601-332-384-8.

4. Орлов Ю.Н., Соков С.А. Процессы и аппараты в химической технологии и биотехнологии. Практикум. - Тольятти: ТГУ, 2021 - 95 с. ISBN 978-5-8259-1514-2.

5. Антипов С.Т., Кретов И.Т. и др. Машины и аппараты пищевых производств. - М.:Высшая Школа, 2019. - 703с. ISBN 5-06-004168-9.

6. Медведков Е.Б. и др. Процессы и аппараты пищевых производств.- Алматы: Гылым, 2016. - 360с. ISBN 978-601-7053-52-9.

7. Сетуха А.В. Метод интегральных уравнений в математической физике. - М.: МГУ, 2023. -316 с. ISBN 978-5-19-011911-4.

8. Довгий С.А., Лифанов И.К. Методы решения интегральных уравнений. Теория и приложения. - Киев: Наукова Думка, 2002. - 344 с. ISBN 966-96058-7-3.

9. Кадец В.М. Курс функционального анализа.-Харьков: ХНУ,2006.- 616с.ISBN 966-623-199-9.

10. OpenAI. ChatGPT (GPT-4) Language Model.- OpenAI.-2023.-URL: https://chat.openai.com. - accessed: 01.11.2025.

References

1. Solov’ ev M.E., Solov’ ev M.M. Komp’ juternaja himija. - M.: SOLON-Press, 2005. - 536 s. ISBN 5-98003-188-X. [in Russian]

2. Bakin I.A. Intensifikacija processov smeshivanija pri poluchenii kombinirovannyh produktov v apparatah centrobezhnogo tipa. Avtoref.dis. doktor.teh.nauk: 05.18.12.- Kemerovo, 2009. - 34 s. [in Russian]

3. Mazaқova Ә.T., Shajmerden B.O., Sejlhan B.Zh., Mazakov T.Zh., Dzhomartova Sh.A. Himijalyқ reaktordy basқaru turaly // Materialy VII mezhdunar. nauchno-prakt. konf. «Informatika i prikladnaja matematika».2022, s.14-18. ISBN 978-601-332-384-8. [in Russian]

4. Orlov Ju.N., Sokov S.A. Processy i apparaty v himicheskoj tehnologii i biotehnologii. Praktikum. - Tol’ jatti: TGU, 2021 - 95 s. ISBN 978-5-8259-1514-2. [in Russian]

5. Antipov S.T., Kretov I.T. i dr. Mashiny i apparaty pishhevyh proizvodstv. - M.:Vysshaja Shkola, 2019. - 703s. ISBN 5-06-004168-9. [in Russian]

6. Medvedkov E.B. i dr. Processy i apparaty pishhevyh proizvodstv.- Almaty: Gylym, 2016. - 360s. ISBN 978-601-7053-52-9. [in Russian]

7. Setuha A.V. Metod integral’ nyh uravnenij v matematicheskoj fizike. - M.: MGU, 2023. -316 s. ISBN 978-5-19-011911-4. [in Russian]

8. Dovgij S.A., Lifanov I.K. Metody reshenija integral’ nyh uravnenij. Teorija i prilozhenija. - Kiev: Naukova Dumka, 2002. - 344 s. ISBN 966-96058-7-3. [in Russian]

9. Kadec V.M. Kurs funkcional’ nogo analiza.-Har’ kov:HNU, 2006. - 616s. ISBN 966-623-199-9.

10. OpenAI. ChatGPT (GPT-4) Language Model.- OpenAI.-2023.-URL: https://chat.openai.com.- accessed: 01.11.2025.

Сведения об авторах

Дузбаев Т.Т.- преподаватель КазНУ имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: talgat.duzbaev@mail.ru;

Мазаков Т. Ж. - д.ф.-м.н., профессор МИТУ, Алматы, Казахстан, e-mail: tmazakov@mail.ru;

Байжанова Д.О.- старший преподователь КазНУ имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: dina.baizhanova2024@gmail.com;

Джомартова Ш. А. -д.т.н., профессор КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: jomartova@mail.ru;

Мазакова А.Т. - PhD, старший преподаватель КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: aigerym97@mail.ru;

Амирханов Б. С.-научный сотрудник КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: amirkhanov.b@gmail.com;

Амирханова Г.А. - PhD, старший преподаватель КазНУ им.аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: gulshat.aa@gmail.com;

Тыныкулова А. С. - старший преподаватель, Международный университет Астана, Казахтан, e-mail: asem_110981@mail.ru.

Information about the authors

Duzbaev T.T. - Lecturer, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: talgat.duzbaev@mail.ru;

Mazakov T. Zh.- Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, International Engineering and Technology University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: tmazakov@mail.ru;

Baizhanova D.O. -Senior Lecturer, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: dina.baizhanova2024@gmail.com;

Zhomartova Sh. A. - Doctor of Technical Sciences, Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: jomartova@mail.ru;

Mazakova A.T. - PhD, Senior Lecturer, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: aigerym97@mail.ru;

Amirkhanov B.S. - Researcher, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: amirkhanov.b@gmail.com;

Amirkhanova G.A. -PhD, Senior Lecturer, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: gulshat.aa@gmail.com;

Tynykulova A.S.- Senior Lecturer, Astana International University, Astana, Kazakhstan, e-mail: asem_110981@mail.ru.

IRSTI 20.19.27 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1085**

REVIEW OF REAL-WORLD APPLICATIONS OF NLP-BASED KEYWORD IDENTIFICATION

D. Ganiuly, D. Kaibassova

Astana IT University, Astana, Kazakhstan

Corresponding author: d.ganiuly@astanait.edu.kz

Keyword extraction is an important task in natural language processing, supporting summarization, indexing, content analysis, and information retrieval. Over time, a wide range of methods have been developed to automate the identification of key concepts in text. This study reviews the main families of keyword extraction techniques, including statistical methods, graph-based algorithms, embedding-based models, and approaches that use neural representations. In addition to summarizing existing research, the study evaluates several widely used tools, such as TF-IDF, YAKE, KeyBERT, KPMiner, TextRank, TopicRank, and MultipartiteRank, and examines how their strengths and limitations appear when applied to real educational materials. Special attention is given to the challenges that arise in multilingual and low-resource settings, particularly for languages with fewer annotated resources. The analysis highlights patterns in algorithm behavior, differences in semantic coverage, and factors that influence performance across syllabus formats and subject areas. The findings aim to help researchers and practitioners choose appropriate keyword extraction methods for educational, multilingual, and domain-specific applications.

Keywords: keyword extraction, low-resource languages, terms, keywords, algorithms, techniques, identification.

NLP НЕГІЗІНДЕГІ КІЛТІ СӨЗДЕРДІ АНЫҚТАУ НЕГІЗГІ СӨЗДЕРДІ ҚОЛДАНУЛАРДЫ ШОЛУ

Д. Ғаниұлы, Д. Қайбасова

Astana IT University, Астана, Қазақстан,
e-mail: d.ganiuly@astanait.edu.kz

Түйінді сөздерді шығару-бұл табиғи тілді өңдеудегі, қорытындылауды, индекстеуді, мазмұнды талдауды және ақпаратты іздеуді қолдаудағы маңызды міндет. Уақыт өте келе мәтіндегі негізгі ұғымдарды анықтауды автоматтандырудың көптеген әдістері жасалды. Бұл зерттеу кілт сөздерді алу әдістерінің негізгі топтарын, соның ішінде статистикалық әдістерді, графикалық алгоритмдерді, ендіруге негізделген модельдерді және нейрондық көріністерді пайдаланатын тәсілдерді қарастырады. Қолданыстағы зерттеулерді қорытындылаумен қатар, зерттеу TF-IDF, YAKE, KeyBERT, KPMiner, TextRank, TopicRank және MultipartiteRank сияқты кеңінен қолданылатын бірнеше құралдарды бағалайды және олардың күшті жақтары мен шектеулері нақты оқу материалдарына қолданылған кезде қалай көрінетінін зерттейді. Көптілді және ресурстары аз жағдайларда, әсіресе аннотацияланған ресурстары аз тілдер үшін туындайтын мәселелерге ерекше назар аударылады. Талдау алгоритмнің мінез-құлқындағы заңдылықтарды, семантикалық қамтудағы айырмашылықтарды және силлабус форматтары мен пәндік салалардағы өнімділікке әсер ететін факторларды көрсетеді. Нәтижелер зерттеушілер мен тәжірибешілерге білім беру, көптілді және доменге тән қолданбалар үшін кілт сөздерді шығарудың сәйкес әдістерін таңдауға көмектесуге бағытталған.

Түйін сөздер: кілт сөздерді шығару, ресурсы аз тілдер, терминдер, түйінді сөздер, алгоритмдер, тәсілдер, сәйкестендіру.

ОБЗОР РЕАЛЬНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ НА ОСНОВЕ NLP

Д. Ганиулы, Д. Кайбасова

Astana IT University, Астана, Казахстан,
e-mail: d.ganiuly@astanait.edu.kz

Извлечение ключевых слов является важной задачей в области обработки естественного языка, поскольку оно поддерживает процессы суммирования, индексирования, контент-анализа и информационного поиска. Со временем был разработан широкий спектр методов, позволяющих автоматически определять ключевые концепции в тексте. В данном исследовании рассмотрены основные группы методов извлечения ключевых слов, включая статистические подходы, алгоритмы на основе графов, модели на основе эмбеддингов, а также методы, использующие нейронные представления. Помимо анализа существующих исследований, работа оценивает ряд широко применяемых инструментов, таких как TF-IDF, YAKE, KeyBERT, KPMiner, TextRank, TopicRank и MultipartiteRank, и рассматривает, как их преимущества и ограничения проявляются при обработке реальных образовательных материалов. Особое внимание уделено проблемам, возникающим в многоязычной и низкоресурсной среде, особенно для языков с ограниченным количеством размеченных данных. Анализ выявляет закономерности поведения алгоритмов, различия в степени семантического охвата и факторы, влияющие на эффективность в зависимости от структуры учебных программ и дисциплин. Полученные результаты предназначены для того, чтобы помочь исследователям и практикам выбирать подходящие методы извлечения ключевых слов для образовательных, многоязычных и специализированных задач.

Ключевые слова: извлечение ключевых слов, языки с низкими ресурсами, термины, ключевые слова, алгоритмы, методы, идентификация.

Introduction. Keyword extraction plays an important role in natural language processing and is widely used to summarise documents, support information retrieval, and organise large collections of educational content. As universities continue to digitise teaching materials and online learning platforms expand, the demand for reliable and accurate keyword extraction methods grows accordingly. Well-chosen keywords make it easier for educators and students to identify essential concepts within a text, follow complex subjects, and connect related ideas across different resources.

Despite the long history of research in this area, traditional keyword extraction methods still face serious limitations. Many of them rely on surface-level statistics such as word frequency, co-occurrence, or simple graph structures. These techniques often fail to capture deeper semantic relationships between terms and do not fully reflect how meaning changes across different contexts. As a result, the extracted keywords may look correct from a technical standpoint but still fail to represent the actual content of educational texts, which frequently include abstract terminology, multi-word expressions, and domain-specific phrases.

Recent advances in transformer models and contextual embeddings have introduced new possibilities for capturing semantic information that traditional methods overlook. These models represent text in a way that preserves context and meaning, allowing them to recognize relationships that are invisible to frequency-based or graph-based approaches. A growing number of keyword extraction techniques now build on these models, yet existing studies vary widely in their datasets, evaluation methods, and goals. This makes it difficult to form a clear understanding of how different approaches compare, especially when the task involves educational materials with specialized vocabulary and varied structure.

The aim of this study is to examine several representative keyword extraction methods and evaluate their suitability for educational texts. The analysis focuses on how traditional statistical approaches behave in this setting, how contextual and transformer-based models address their shortcomings, and how different techniques perform when assessed using consistent criteria. Special attention is given to challenges specific to educational and multilingual materials, including

the presence of discipline-specific terminology and the diversity of writing styles. By bringing these perspectives together, the study seeks to provide clear guidance on selecting appropriate extraction methods for educational content and to outline areas where further improvement is needed.

Materials and Methods. To provide a comprehensive and methodologically grounded survey of keyword extraction algorithms, a systematic literature search was conducted across major databases, including IEEE Xplore, ACM Digital Library, SpringerLink, Scopus, and Google Scholar. Scopus offers a broad interdisciplinary coverage, making it particularly useful for identifying research trends in keyword extraction and machine learning. IEEE Xplore, on the other hand, is a valuable source for high-impact publications in computer science and artificial intelligence, ensuring access to the latest advancements in the field.

Scopus was used as the primary database due to its advanced search capabilities, including keyword-based queries with logical operators. An initial search using the query ”keyword identification AND machine learning” retrieved approximately 9,592 articles. To improve relevance, filters were applied to limit the selection to publications from the last five years (2021-2025) and to include only research and review articles. Given the importance of precise query formulation, a second search attempt was conducted using ”keyword extraction AND dataset,” which resulted in 6,607 articles specifically related to computer science. This refinement helped to identify studies that focus on dataset-driven approaches to keyword extraction.

To further refine the selection and focus on high-quality scientific publications, IEEE Xplore was used as a secondary source. An initial search with ”identifying keywords” for the 2020–2025 timeframe retrieved approximately 1,223 papers. A second iteration with paraphrased search terms yielded 190 research papers with a more specific emphasis on keyword extraction techniques. In a final search attempt aimed at narrowing the selection even further, 520 papers were identified from the last half-decade, ensuring that the survey included only the most relevant and recent contributions to the field.

The multi-stage filtering process was applied according to the Fig.1:

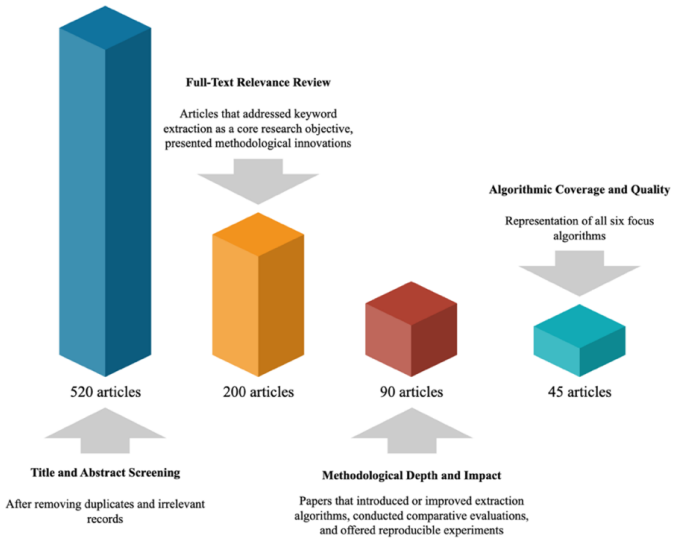


Fig.1 - The order of article selection steps

Statistical approach. The statistical approach to keyword extraction relies on analyzing patterns like word frequency and co-occurrence within a text to identify terms that are statistically significant or unusually prominent compared to the rest.

TF-IDF. One of the most well-known techniques

is Term Frequency-Inverse Document Frequency (TF-IDF), which assigns importance to words based on their occurrence in a document relative to their overall distribution in a dataset. While TF-IDF is computationally inexpensive and effective for structured text, it lacks semantic awareness and struggles with multi-word phrases [1]. TF-IDF score is calculated as follows:

$$\text{TF-IDF}(t, d, D) = TF(t, d) \cdot IDF(t, D)$$

where,

TF(t, d) - how often term *t* appears in document *d*, typically normalized by the total number of terms in *d*;

IDF(t, D) - a measure of how rare term *t* is across the entire document set *D*, reducing the weight of common terms.

YAKE. Other statistical methods include YAKE (Yet Another Keyword Extractor), which enhances keyword identification by considering statistical features such as word casing, position in text, and frequency distributions. Unlike TF-IDF, YAKE operates without requiring a large corpus, making it useful for small datasets. Additionally, RAKE (Rapid Automatic Keyword Extraction) identifies key phrases by analyzing word co-occurrences within a sliding window, enabling the detection of multi-word expressions [2,3]. Despite their effectiveness, statistical approaches often fail to capture the deeper contextual meaning of words, limiting their applicability in complex NLP tasks.

Word n-grams without punctuation and without a stop word at the beginning or end are chosen by YAKE as candidate keywords. To further filter out tokens that shouldn' t be part of a keyword (such as non-alphanumeric character sequences, etc.). The following formula is used to compute word and phrase score:

$$\text{Score}(w) = \frac{TF(w)}{\wp(w) \cdot RS(w) \cdot C_w(w) \cdot D(w)}$$

where,

TF(w) - Term Frequency – how often the word *w* appears in the document.

WP(w) - Word Position – a measure giving higher weight to words that appear earlier in the document;

RS(w) - Relatedness to Sentences – the proportion of sentences that contain the word *w*, reflecting its distribution;

Cw(w) - Word Case – the ratio of lowercase appearances of *w*, penalizing words frequently capitalized;

D(w) - Word Co-occurrence Degree – the degree of how often *w* co-occurs with other words in a local window, penalizing overly connected words.

KPMiner. KPMiner uses n-gram and is a revised form of TF-IDF. Prospective keyword selection, candidate keyword weight calculation, and keyword refinement are the three main phases of the suggested approach. KPMiner incorporated two new statistical characteristics after eliminating punctuation and stop words during the candidate keywords picking phase [4].

1) A word must appear at least n times in the document from which keywords are to be retrieved in order to qualify as a candidate keyword; this is known as the least acceptable seen frequency (lasf) factor.

2) If a term appears in a lengthy text after a certain cutoff threshold position, it will not be regarded as a keyword and will be filtered away. Since single keywords often receive greater marks due to their probable multiple existence, KPMiner employs an enhancement factor for compound keywords in the candidate keywords weight calculation step to counteract the bias of TF-IDF towards single

keywords. The top n keywords are returned after the last round of keyword refinement.

The following formula is applied to compute the frequency score:

$$\text{Score}(p) = \frac{F_p}{\log_2\left(1 + \text{first_pos}_p\right)} \cdot \text{len}_p^{\alpha}$$

where,

Fp = Frequency of phrase p – how many times the candidate phrase p appears in the document.

first_pos = First occurrence position – the position (word index) of the first appearance of p in the document, penalizing phrases that appear late;

len_p = Length of phrase p – number of words in the phrase (e.g., 2 for ”artificial intelligence”).

α = Length scaling factor – a constant (typically 1 or 2) to control the impact of phrase length.

Graph-Based Approaches. Graph-based keyword extraction techniques model text as a network of words or phrases, enabling the identification of important terms through ranking algorithms. Graph-based methods are advantageous because they do not require training data and can effectively capture multi-word phrases. Variants of TextRank, incorporate additional linguistic features (e.g., word position) to improve keyword relevance. However, these methods rely heavily on the structure of the input text, and their performance can degrade when applied to highly unstructured or domain-specific content. Once the relevant words are identified, the next step is to construct a graph where each word (or phrase) becomes a node [5,6]. Edges are created between nodes based on the co-occurrence of words within a defined window (e.g., a sentence or a fixed number of words). The weight of the edge reflects the strength of the relationship between the words, which can be measured by metrics like cosine similarity or simple co-occurrence.

TextRank. One of the most widely used graph-based methods is TextRank, which applies Google’s PageRank algorithm to textual data. In this approach, words or phrases are represented as nodes in a graph, and their relationships (e.g., co-occurrence within a sentence or paragraph) form weighted edges. The algorithm iteratively assigns importance scores to nodes, ultimately ranking the most relevant keywords.

$$S\left(w_i\right) = (1-d) + d * \sum_{w_j \in N\left(w_i\right)} \frac{S\left(w_j\right)}{C\left(w_j\right)}$$

where,

$S\left(w_i\right)$ - the score importance of word w_i;

d - The damping factor, typically set to 0.85;

$N\left(w_i\right)$ - The set of neighboring words for word w_i ; $C\left(w_j\right)$ - The number of outgoing edges from word w_j.

TopicRank. A graph-based KE technique called TopicRank extracts significant keywords from a manuscript by using its thematic representation. By grouping similar terms in the document into clusters, the approach first finds potential subjects. Then, it uses a variation of the TextRank method to determine which keywords in each cluster are most crucial. It creates a graph with nodes standing for the subjects that have been discovered and edges for how related the subject areas are to one another [7]. The correlation between the terms that comprise each subject is used to calculate the similarity between topics. To automatically aggregate related terms into themes, the Hierarchical Agglomerative Clustering (HAC) method is utilized. TopicRank is very helpful for locating significant subjects that individual keywords can miss [8]. After scoring with the following formula, TopicRank selects one representative phrase per topic (often the first occurrence or most frequent one).

$$\text{Score}\left(t_i\right) = \sum_{t_j \in N\left(t_i\right)} w_{ij}$$

where,

t_i - a topic node in the graph, representing a cluster of semantically related keyphrase candidates.

$N\left(t_i\right)$ - the set of neighboring topic nodes that co-occur with t_i in the text;

w_{ij} - the weight of the edge between topic t_i and neighbor t_j, typically based on proximity or co-occurrence distance within the document.

MultipartiteRank. The graph-based keyword extraction technique MultipartiteRank creates a multipartite graph with nodes representing unique texts as well as phrases that occur inside the documents [9]. A modified version of the PageRank algorithm, MultipartiteRank takes into account both the bipartite structure of the network and the relative relevance of each term in its corresponding page. Instead of individual papers, the end product is a collection of keywords that accurately reflect the content of the full document collection [10]. Because it has a stage where edge weights are adjusted to take location information into account, this approach is more intricate. Relevant keywords that occur first in the text are therefore given preference.

The following formulas are used to construct graphs. Let G = (V, E) be an undirected, complete graph with V as a set of vertices and E as a subset3 of V*V for the edges.

$$\text{Score}\left(c_i\right) = (1-\lambda) + \lambda \cdot \sum_{c_j \in N\left(c_i\right)} \frac{w_{ji} \cdot \text{Score}\left(c_j\right)}{\sum_{c_k \in N\left(c_j\right)} w_{jk}}$$

where,

c_i = candidate keyphrase node whose importance is being computed;

$N\left(c_i\right)$ = set of neighboring candidate keyphrases from other topics (no intra-topic edges):

w_{ji} = weight of the edge from candidate c_i to c_j, based on co-occurrence or positional proximity.

λ = damping factor (usually 0.85), balancing random walk with link-based recommendation;

Score(c_j) = current score of neighbor node c_j, recursively computed;

$\sum_{c_k \in N\left(c_j\right)} w_{jk}$ = normalization factor: sum of edge weights from $c_j$to its neighbors.

Embedding-Based Methods. To overcome the limitations of purely statistical techniques, researchers have developed embedding-based methods that leverage vector representations of words to enhance keyword extraction [11,12]. These methods utilize pre-trained word embeddings such as Word2Vec, FastText, and GloVe to capture semantic similarities between words. By representing words in a continuous vector space, embedding-based models improve keyword selection by considering contextual relationships rather than just frequency.

KeyBERT. A prominent example in this category is KeyBERT, which builds upon transformer-based embeddings such as BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers). KeyBERT generates candidate keywords and ranks them based on cosine similarity between document embeddings and potential keywords, ensuring that extracted terms are contextually meaningful [13]. The ability of embedding-based models to preserve semantic relationships makes them particularly useful for tasks requiring high precision in keyword extraction. However, these methods often require significant computational resources and large pre-trained models, which may limit their real-time applicability.

$$\text{Score}(p) = \cos\left(\vec{p}, \vec{d}\right)$$

where, $\vec{p}$ = embedding vector of the candidate phrase p, typically obtained using a BERT model (or similar transformer);

$\vec{d}$ = embedding vector of the full document (or a central sentence representation), also computed using the same model;

$\cos\left(\vec{p}, \vec{d}\right)$ = cosine similarity between the phrase and document embeddings, producing a value between -1 and 1, where values closer to 1 indicate higher semantic similarity.

To provide a clearer overview of how the examined algorithms differ in their underlying principles and practical behavior, we summarise the methods used in this study in a comparative form. This overview helps to highlight the contrast between statistical, graph-based, and embedding-based approaches before moving to the discussion of transformer-based techniques. The comparison of keyword extraction approaches employed in this research is presented in Table 1.

Table 1 - Overview of Keyword Extraction Approaches

Approach Type	Algorithms Used	Strengths	Limitations	Suitability for Educational Texts
Statistical	TF-IDF, YAKE, KPMiner, RAKE	Fast; interpretable; no training needed; effective on structured text	No semantic knowledge; may miss multi-word concepts; unstable for abstract terminology	Works moderately well on short or well-formatted syllabuses; weaker for concept-heavy subjects
Graph-based	TextRank, TopicRank, MultipartiteRank	Detects multi-word expressions; structured keyword ranking; unsupervised	Dependent on text cohesion; limited semantic depth; sensitive to preprocessing	Useful for longer syllabuses or materials with strong internal structure
Embedding-based	BERT/SBERT embeddings, KeyBERT	Captures semantic meaning; strong performance on abstract academic terms; handles rephrasing well	Requires more computation; quality relies on transformer model	Provides most consistent and contextually accurate results on educational content

Experiments. To evaluate the effectiveness of different keyword extraction algorithms for educational content generation, we conducted a series of experiments on a curated dataset comprising 255 course syllabuses from various disciplines, including computer science, business, psychology, and engineering. These syllabuses ranged from short outlines to detailed week-by-week breakdowns and were sourced from publicly available higher education platforms.

Each syllabus was preprocessed using standard NLP techniques: lowercasing, tokenization, stopword removal, and sentence segmentation. For algorithms that required part-of-speech tagging (e.g., MultipartiteRank, TopicRank), we used spaCy' s English language model. The primary goal was to extract representative keywords or keyphrases that would serve as seeds for downstream educational content generation [14,15].

Preprocessing. The importance of the preprocessing step was illustrated by results obtained in previous studies related to keyword extraction. Document preprocessing includes cleaning and transforming the text into a processable format for keyword spotting instruments [16].

The requirements to follow the pre-processing stage include the elimination of redundant fragments from text, such as stop words, special characters, suffices, and punctuation marks that can directly or indirectly influence the outcome [17]. In order to make it simpler for the approaches to find and extract important terms, document preprocessing can also include methods like stemming and lemmatization to reduce words to their root form. Adequate document preprocessing minimizes noise and guarantees consistent input data, which can enhance the performance of the KE techniques.

It was revealed that utilizing data pretreatment procedures boosts the performance of RAKE on the SemEval2017 dataset. The F1-score increases by nearly 10 percent if the data is preprocessed. Additionally, the preprocessed data results in an almost 22 percent reduction in execution time. YAKE further examines the effects of data preparation and assesses them using the SemEval2010 dataset.

Among all found articles from various data sources of publications, nearly 90 percent of all studies included or at least mentioned preprocessing as an important stage in their experiments. This is due to the fact that written information should correspond to a format that is processable by NLP instruments for keyword extraction. Therefore, the majority of previous research included data preprocessing to improve the effectiveness and increase the accuracy of results.

In the scope of this study, syllabuses on university courses will be processed by several techniques to extract keywords. Since course syllabuses are created based on a single template, there is information that can be processed erroneously, which will lead to inaccurate results. For this reason, a custom list of stopwords will be used in the preprocessing step to avoid keyword spotting of irrelevant data. This list will be complemented to decrease the probability of processing redundant words and phrases and leave space only for necessary information.

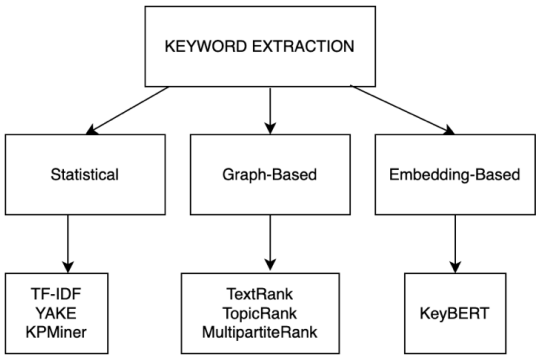


Fig.2 - Classification of keyword extraction algorithms

Applications and use cases. Scientists used TF-IDF, TextRank, SingleRank, ExpandRank, RAKE, CO, Semantic Relationship-based methods, and Combination methods to extract keywords in the scope of their experiments to process information from the Hulth 2003 dataset. This study also concentrated on comparing various import terms spotting, so numerous methods were included. Each document in the Hulth2003 dataset, which is a document summary dataset from the Inspec physical and engineering literature database, has two sets of keywords assigned to it: the unregulated keywords are openly assigned by the editors, and the manually controlled keywords

are displayed in the Inspec thesaurus instead of the document.Another dataset that was common between studies is Krapivin2009.

Fig.2 illustrates classifications of different algorithms used for keyword extractions. Three major classes of keyword extraction algorithms are found: statistical, graph-based, and embedding-based. While statistical algorithms consist of TF-IDF, YAKE, and KPMiner, instruments such as TextRank, TopicRank, and MultipartiteRank were classified as graph-based. Embedding-based instrument: KeyBERT was also commonly used by previous studies.

Comparative analysis. According to Table 1, the applicability and behavior of the examined keyword extraction algorithms vary considerably depending on their underlying approach. Traditional statistical methods such as TF-IDF provide very fast results but lack semantic awareness, which limits their ability to identify abstract or domain-specific concepts. Heuristic multi-feature methods like YAKE improve robustness without relying on external corpora, making them effective for structured and domain-independent texts. Graph-based algorithms, including TextRank, TopicRank, and MultipartiteRank, offer a balanced solution by capturing co-occurrence patterns and multi-word expressions, although their performance depends on text cohesion. Embedding-based approaches such as KeyBERT deliver the most contextually accurate keywords by leveraging transformer-based semantic representations, making them particularly suitable for educational materials that contain concept-heavy terminology.

Table 2 - Qualitative Performance of Methods on Educational Content

Algorithm	Relevance of Extracted Keywords	Ability to Capture Semantic Meaning	Stability Across Different Subjects	Notes
TF-IDF	Low–medium	Low	Medium	Extracts frequent terms rather than conceptual keywords; often misses multi-word expressions
YAKE	Medium	Low–medium	High	Performs reliably on clean and structured syllabuses; multi-feature scoring helps reduce noise
KPMiner	Medium	Low–medium	Medium	Better for longer documents due to frequency and position adjustments; still lacks semantic awareness
RAKE	Medium	Low	Medium	Good for detecting simple multi-word phrases, but performance varies based on text formatting
TextRank	Medium	Low–medium	Medium	Works well with cohesive text, but lacks contextual understanding
TopicRank	Medium	Medium	Medium	Topic clustering improves conceptual grouping but depends heavily on preprocessing quality
MultipartiteRank	Medium–high	Medium	Medium	Topic-aware graph helps detect diverse keyphrases; sensitive to sentence segmentation
KeyBERT	High	High	High	Produces the most contextually meaningful keywords; robust across different academic domains

Since the algorithms differ in their ability to capture context, semantic meaning, and domain-specific terminology, their qualitative behavior shows noticeable variation across subjects. A summary of these tendencies is provided in Table 2, offering a high-level understanding of the relative strengths and weaknesses of each technique.

Results and Discussion. The analysis of 255 course syllabuses showed noticeable differences in how each keyword extraction algorithm behaves. Because the syllabuses varied in length, structure, and writing style, the methods performed differently depending on the discipline and the level of conceptual detail.

Algorithm Behavior in Educational Contexts. KeyBERT delivered the strongest overall results. Since it relies on contextual embeddings, it was able to identify terms that were central to a course even when they appeared only once. For example, in machine learning syllabuses, KeyBERT detected keywords such as overfitting, feature engineering, and gradient descent simply because they aligned well with the main theme of the document [18]. This ability to capture meaning rather than frequency made it especially effective in subjects where important concepts are not repeated many times but are essential for understanding the course.

KPMiner performed well on syllabuses that were written in a structured and repetitive format. In courses such as databases or operating systems, where key terms naturally appear early and are repeated across weekly modules, KPMiner consistently identified fundamental concepts like SQL, normalization, and paging. This made it particularly suitable for STEM syllabuses that follow a predictable instructional pattern.

YAKE, although purely statistical, showed good adaptability. Its multi-feature scoring allowed it to extract relevant phrases from shorter and less organized syllabuses. However, because it does not consider semantic meaning, it sometimes selected general or administrative words such as assessment, outline, or unit, which reduced its usefulness for generating educational content.

Redundancy, Diversity, and Pedagogical Coherence. Graph-based methods such as TextRank and TopicRank often produced redundant results. For example, they might output both machine learning and learning as separate keywords, which creates noise when these terms are used to build lesson plans or learning objectives. MultipartiteRank handled this problem better by separating candidate terms into distinct topics, which reduced redundancy and increased variety. Although its accuracy was lower than that of KeyBERT and KPMiner, MultipartiteRank offered broader topic coverage-a useful property when the goal is to outline course themes rather than extract a small set of precise concepts.

KeyBERT and MultipartiteRank also produced more coherent keyword sets. When grouped into clusters, the selected terms reflected the conceptual structure of the syllabuses and aligned with typical learning outcomes used in curriculum planning [19]. This coherence makes these models particularly helpful for generating learning materials such as quizzes, concept maps, or weekly module themes.

Domain Sensitivity. The results also varied across academic fields. In humanities and social sciences, where terminology depends heavily on context and is often less repetitive, KeyBERT had a clear advantage thanks to its semantic representation. In contrast, KPMiner and YAKE worked better in STEM subjects, where technical terms tend to appear consistently throughout the syllabus. Graph-based methods performed moderately across all domains but lacked the depth needed to capture more abstract concepts [20].

Accuracy and efficiency. Three algorithms stood out for practical applications:

1. KeyBERT provided the most accurate and pedagogically meaningful keywords. Its semantic understanding makes it ideal for generating study guides, concept maps, and learning objectives.

2. KPMiner was reliable for structured syllabuses and works well when the goal is to extract core terms for summaries or review sheets.

3. MultipartiteRank offered strong topic diversity, which is useful for designing course outlines or identifying broader thematic areas.

Traditional methods such as TF-IDF and TextRank were less effective for educational purposes. TF-IDF tended to select frequent but less meaningful words, while TextRank often lacked conceptual focus. As a result, both methods are less suitable for tasks related to automated curriculum development.

The redundancy analysis shown in Fig.3 highlights these differences. KeyBERT produced the lowest redundancy (18%), meaning it generated the most distinct and semantically rich keyword sets. TF-IDF (42%) and TextRank (38%) showed high redundancy, often repeating variations of the same idea. These results reinforce the conclusion that semantic models provide more useful and diverse keywords for educational applications.

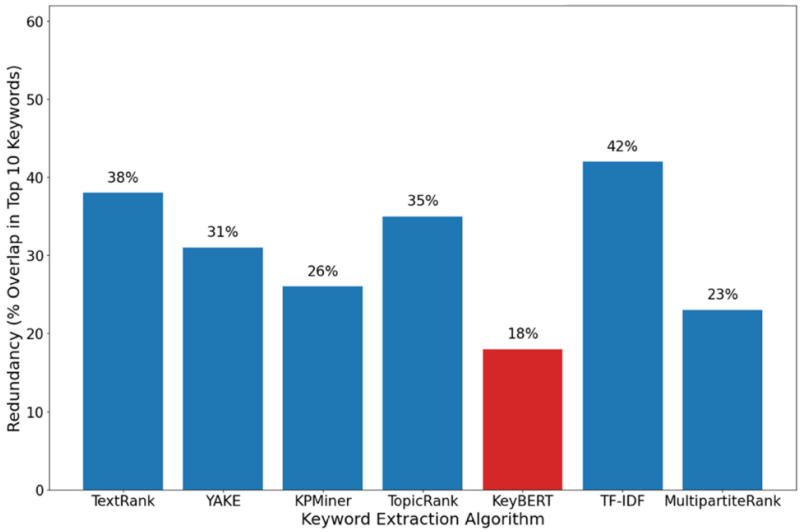


Fig.3 - Keyword Redundancy Across Extraction Algorithms

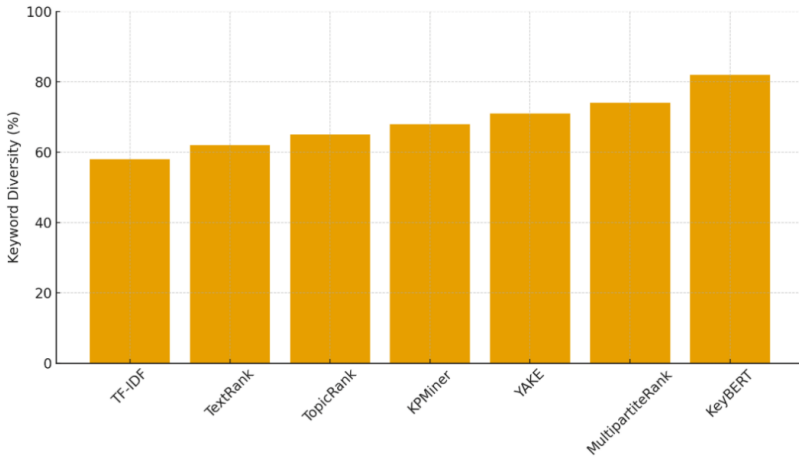


Fig.4 - Keyword Diversity Across Extraction Algorithms

To complement the redundancy analysis, we also measured the diversity of extracted keywords, defined as the proportion of distinct terms within each algorithm's top-10 output. As shown in Fig.4, diversity levels vary substantially across methods. KeyBERT achieved the highest diversity (82%), reflecting its ability to capture semantically distinct concepts even when key terms appear infrequently in the syllabus. MultipartiteRank and YAKE also performed well (74% and 71%, respectively), indicating strong topic coverage without excessive repetition. In contrast, older statistical and graph-based approaches such as TF-IDF (58%) and TextRank (62%) produced more overlapping or closely related terms, limiting their usefulness for downstream educational tasks that require broad conceptual representation. These results reinforce the conclusion that semantic and topic-sensitive models provide richer keyword sets that better reflect the structure and thematic variety of university syllabuses.

Conclusion. This study examined the performance of several keyword extraction algorithms on a collection of 255 course syllabuses and demonstrated clear differences in their ability to identify meaningful and pedagogically relevant terms. The results confirm that semantic modeling plays a central role in educational text processing: transformer-based approaches,

particularly KeyBERT, consistently produced the most accurate, diverse, and conceptually coherent keyword sets. This is significant for applications in educational technology, where extracted keywords often serve as the basis for generating study materials, aligning learning outcomes, and supporting automated curriculum design.

The findings also provide practical recommendations for selecting appropriate methods. KeyBERT is the most effective choice when the goal is to extract concept-level information and handle abstract terminology across various disciplines. KPMiner offers reliable precision for structured STEM syllabuses written in a repetitive week-by-week format. MultipartiteRank is valuable for tasks that require broad thematic coverage, such as constructing course outlines or identifying clusters of related topics. These insights can assist educators, developers, and researchers in choosing suitable tools based on the structure and purpose of their educational content.

Future work may explore explore adaptive keyword extraction models that dynamically adjust to different syllabus structures and subject domains to enhance consistency across diverse educational materials.

References

1. Nadim M., Akopian D., Matamoros A. A Comparative Assessment of Unsupervised Keyword Extraction Tools//IEEE Access. -2023. -Vol.11.-P.144778-144798. DOI 10.1109/ACCESS.2023.3344032.

2. Khan M.Q., et al. Impact Analysis of Keyword Extraction Using Contextual Word Embedding//PeerJ Computer Science. -2022. - Vol.8: e967. DOI 10.7717/peerj-cs.967.

3. Zhang Y., Tuo M., Yin Q., Qi L., Wang X., Liu T. Keywords Extraction with Deep Neural Network Model // Neurocomputing. - 2020. -Vol.383 (C). -P.113-121. DOI 10.1016/j.neucom.2019.11.08.

4. Guo W., Wang Z., Han F. Multifeature Fusion Keyword Extraction Algorithm Based on TextRank// IEEE Access. -2022. -Vol.10. -P. 71805-71813. DOI 10.1109/ACCESS.2022.3188861

5. Mao X., Huang S., Li R., Shen L. Automatic Keyword Extraction Based on Co-Occurrence and Semantic Relationships Between Words//IEEE Access. -2020. -Vol.8.-P.117528-117538. DOI 10.1109/ACCESS.2020.3004628.

6. Papagiannopoulou E.,Tsoumakas G. A Review of Keyphrase Extraction//Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery. -2019. -Vol.10(2): e1339. DOI 10.1002/widm.1339.

7. Chen L.C. An Extended TF-IDF Method for Improving Keyword Extraction in Traditional Corpus-Based Research: An Example of a Climate Change Corpus//Data & Knowledge Engineering. -2024. -Vol.153: 102322. DOI 10.1016/j.datak.2024.102322.

8. Zhang L., Li Y., Li Q. A Graph-Based Keyword Extraction Method for Academic Literature Knowledge Graph Construction//Mathematics. -2024. -Vol.12(9): 1349. DOI 10.3390/math12091349.

9. Song M., Feng Y., Jing L. A Survey on Recent Advances in Keyphrase Extraction From Pre-Trained Language Models // Findings of the Association for Computational Linguistics (EACL). -2023. -P.2153-2164. DOI 10.18653/v1/2023.findings-eacl.161.

10. Gupta A., Chadha A., Tewari V. A Natural Language Processing Model on BERT and YAKE Technique for Keyword Extraction on Sustainability Reports // IEEE Access. -2024. -Vol.12. -P.7942-7951. DOI 10.1109/ACCESS.2024.3352742.

11. Sarwar T.B., Noor N.M., Miah M.S. Evaluating Keyphrase Extraction Algorithms Using Lexical Similarity and Semantic Relatedness // PeerJ Computer Science. -2022. -Vol.8: e1024. DOI 10.7717/peerj-cs.1024.

12. Amur Z.H., Hooi Y.K., Soomro G.M., et al. Unlocking the Potential of Keyword Extraction: The Need for Access to High-Quality Datasets//Applied Sciences. -2023. -Vol.13(12): 7228. DOI 10.3390/app13127228.

13. Ahmed U., Alexopoulos C., Piangerelli M., Polini A. BRYT: Automated Keyword Extraction for Open Datasets//Intelligent Systems with Applications. -2024. -Vol.23: 200421. DOI 10.1016/j.iswa.2024.200421.

14. Nomoto T. Keyword Extraction: A Modern Perspective//SN Computer Science. -2023. -Vol.4(1): 92. DOI 10.1007/s42979-022-01481-7.

15. Liu Q., Hui Y., Liu S., Ji Y. Y-Rank: A Multi-Feature-Based Keyphrase Extraction Method for Short Text//Applied Sciences. -2024. -Vol.14(6): 2510. DOI 10.3390/app14062510.

16. Bai R., Liu F., Zhuang X., Yan Y. MICRank: Multi-Information Interconstrained Keyphrase Extraction//Expert Systems with Applications. -2024. -Vol.249: 123744. DOI 10.1016/j.eswa.2024.123744.

17. Bennani-Smires K., Musat C., Hossmann A., Baeriswyl M., Jaggi M. Simple Unsupervised Keyphrase Extraction Using Sentence Embeddings // Proceedings of the Workshop on Automated Knowledge Base Construction (AKBC). -2018. -Vol. arXiv:1801.04470. DOI 10.48550/arXiv.1801.04470.

18. Campos R., Mangaravite V., Pasquali A., Jorge A.M., Nunes C., Jatowt A. YAKE! Collection-Independent Automatic Keyword Extractor // European Conference on Information Retrieval (ECIR). -2018. -P.806–810. DOI 10.1007/978-3-319-76941-7_80.

19. Kaibassova D., Nurtay M. The Comparative Analysis of Machine Learning Models for Quality Assessment of Textual Academic Works // Proc. Int. Conf. On Smart Information Systems and Technologies (Sist). -2022. -P.1-4. DOI 10.1109/sist54437.2022.9945714.

20. Kaibassova D., Ashimbekova A. Data Acquisition Model for an Intelligent System Integrating the Creation of Educational Programs and Professional Standards // Wseas Transactions On Computer Research. -2024. -Vol.12. -P.443 - 449. DOI 10.37394/232018.2024.12.43.

Information about the authors

Ganiuly D. - Master of Technical Sciences, Astana IT University, Astana, Kazakhstan, e-mail: d.ganiuly@astanait.edu.kz;

Kaibassova D. - PhD., Ass. Professor, Astana IT University, Astana, Kazakhstan, e-mail: d.kaibasova@astanait.edu.kz.

Информация об авторах

Ганиулы Д. - магистр технических наук, Astana IT University, Астана, Казахстан, e-mail: d.ganiuly@astanait.edu.kz;

Кайбасова Д. - доктор PhD, Acc. профессор, Astana IT University, Астана, Казахстан, e-mail: d.kaibasova@astanait.edu.kz.

IRSTI 28.23.19 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1231**

USER AUTHENTICATION IN MOBILE LEARNING: BEHAVIORAL ANALYSIS WITH GYROSCOPE AND ACCELEROMETER DATA

B.B. Serbin, A.M. Kassenkhan, R.K. Uskenbayeva, Zh.B. Kalpeyeva
Satbayev university, Almaty, Kazakhstan
Corresponding author: a.kassenkhan@satbayev.university

With rising popularity of mobile devices and increasingly voluminous learning data, securing individual information has become a matter of urgency. This work proposes a behavioral authentication model that reinforces access security on smart learning platforms through learning user behavior from accelerometer and gyroscope data. Designed to suit mobile learning environments where voluminous user interaction with interactive content necessitates trustworthy authentication processes, this model reinforces access security on smart learning platforms through learning user behavior from accelerometer and gyroscope data. Beyond taking into consideration accessible authentication processes, this paper further presents an innovative solution designed to suit mobile environments. Experiment results prove the model to be viable in upkeeping data integrity as well as securing user access to school systems.

Keywords: smartphone, mobile application, behavioral model, authentication, gyroscope, accelerometer, security, education.

МОБИЛЬДІ ОҚЫТУДАҒЫ ПАЙДАЛАНУШЫЛАРДЫ АУТЕНТИФИКАЦИЯЛАУ: ГИРОСКОП ПЕН АКСЕЛЕРОМЕТР ДЕРЕКТЕРІН ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП, МІНЕЗ-ҚҰЛЫҚТЫ ТАЛДАУ

В.В. Сербин, А.М. Қасенхан, Ж.Б. Кальпеева, Р.К. Ускенбаева
Satbayev University, Алматы, Қазақстан,
e-mail: a.kassenkhan@satbayev.university

Мобильді құрылғыларды кеңінен қолдану және білім беру деректерінің көлемінің артуына байланысты жеке ақпаратты қорғауды өзекті мәселеге айналды. Бұл зерттеуде пайдаланушылардың мінез-құлық үлгілерін гироскоп пен акселерометр деректері арқылы талдау негізінде интеллектуалды білім беру платформаларына қол жеткізудің қауіпсіздігін арттыратын мінез-құлыққа негізделген аутентификация үлгісі ұсынылады. Модель мобильді оқыту ортасына арнайы бейімделген, мұнда пайдаланушының динамикалық мазмұнмен жиі өзара әрекеттесуі сенімді аутентификация механизмдерін талап етеді. Қолданыстағы аутентификация әдістеріне шолу жасаумен қатар, зерттеу мобильді қолдануға арналған жаңа тәсілді ұсынады. Алынған нәтижелер бұл үлгінің деректердің тұтастығын қамтамасыз ету және білім беру жүйелерінде пайдаланушылардың қолжетімділігін қорғау тиімділігін көрсетеді.

Түйін сөздер: смартфон, мобильді қосымша, мінез-құлық моделі, аутентификация, гироскоп, акселерометр, қауіпсіздік, білім.

АУТЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В МОБИЛЬНОМ ОБУЧЕНИИ: ПОВЕДЕНЧЕСКИЙ АНАЛИЗ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ГИРОСКОПА И АКСЕЛЕРОМЕТРА

В.В. Сербин, А.М. Қасенхан, Ж.Б. Кальпеева, Р.К. Ускенбаева
Satbayev University, Алматы, Казахстан
e-mail: a.kassenkhan@satbayev.university

Популярность мобильных устройств и растущий объём учебных данных превратили защиту персональных данных в актуальную проблему. В данном исследовании представлена поведенческая модель аутентификации, повышающая безопасность доступа на интеллектуальных обучающих платформах путём анализа поведения пользователей на основе данных гироскопа и акселерометра. Модель адаптирована к условиям мобильного обучения, где интенсивное взаимодействие

пользователя с интерактивным контентом требует надёжных механизмов аутентификации. Помимо рассмотрения существующих методов аутентификации, в данной статье также представлено новое решение, адаптированное для мобильных сред. Результаты демонстрируют эффективность модели в сохранении целостности данных и обеспечении безопасности доступа пользователей в школьных системах.

Ключевые слова: смартфон, мобильное приложение, поведенческая модель, аутентификация, гироскоп, акселерометр, безопасность, образование.

Introduction. This widespread adoption of smartphones and mobile technologies has been no less influential in contemporary teaching and learning, changing how students learn, interact, and interact with learning content. m-learning platforms like Moodle, Coursera, and Edmodo provide flexible access to personalized learning content to students, facilitate real-time collaboration, and allow constant monitoring of progress-frequently without regard to time or place.

Nevertheless, this growing use of mobile instruments comes along with new and multifaceted security issues. Among those are issues of how to protect user information, authenticate identity, as well as provide limited access to learning platforms. It becomes essential to ensure that only authenticated users are capable of accessing and interacting within online learning environments as much as privacy, customization, and learning integrity are all on the line.

Conventional authentication methods-such as passwords, PINs, or even biometric identifiers-usually fail in mobile learning environments. Passwords are subject to weakness, reusing of passwords, and being broken, and biometric devices such as face or finger recognition might encounter technological constraints or user Wariness about privacy. Additionally, all of these systems only authenticate humans once upon login, providing no protection if access is gained illicitly during session.

While privacy is broadly thought to be a requirement in mobile app development, as yet most users would rather have convenience. For instance, a cross-country survey conducted by Schewina et al. (2024) indicated that data-gathering apps were routinely differently favourably ranked even when privacy risk was recognised. This reflects a requirement for authentication mechanisms that are as much a pleasure to use as they are secure-particularly in online learning environments where users transact regularly and interactively [1].

One of such promising remedies is behavioral authentication (BA) that is based on monitoring how an individual interacts with his device. Such behaviors as touch gestures, tilting of a device, swiping, and motion patterns are distinctive to users and hard to counterfeit. Integrated phone sensors in a smartphone (gyroscopes and accelerometers) allow for capturing such subtle behaviors in real time, providing unobtrusive and context-aware identity verification. Such a method can be an effective complement to regular login processes.

Cybersecurity of online learning is further informed by user awareness and practice. According to a study conducted by Kocsis et al. (2025), students trained in digital hygiene significantly better identified and evaded online incidents such as phishing or abuse of authentication tools. This suggests that good technical systems should be reinforced by user training [2].

Even as biometric instruments have been increasingly employed in areas of communications as diverse as cell phone payments, apprehension regarding user trust and usability of systems persists. A scaled-up study by Liébana-Cabanillas et al. (2024) spanning more than 2,500 users indicated a number of principal psychological and contextual variables that affect whether users accept biometric verification. Their findings revealed that performance expectations, perceived ease of use, and risk perception significantly impact user choice. These findings further drive home a point that is especially true in learning environments where manned user activity is recurrent and sensitive [3].

During the last two decades, behavioral

authentication has attracted significant attention in academia as well as in industry. A keyword search of “behavioral authentication” and “mobile learning” on ScienceDirect illustrates this trend: publications of this type have leapt from 25 in 2002 to 1,484 in 2024. By mid-2025, only 1,351 articles had been indexed but this number may reach 2,700 or higher by year-end. This exponential growth betrays growing interest in security systems driven by behavior as technological potential and confidentiality requirements expand.

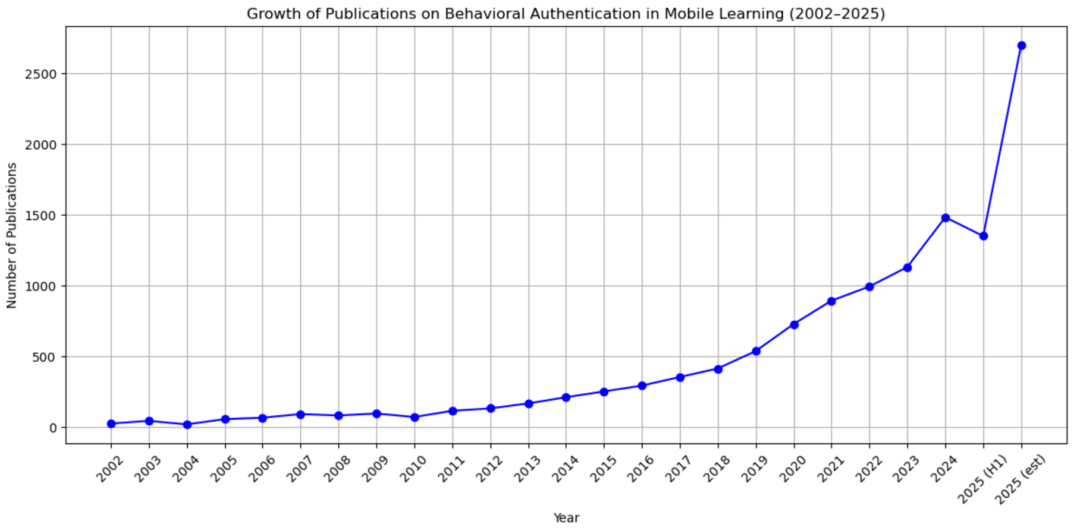


Fig 1 - Annual number of publications on ”behavioral authentication” and ”mobile learning” (2002–2025)

Increased interest in behavioral authentication is being spurred on by a number of converging trends. These range from an accelerating adoption of sensor-enabled mobile devices to a worldwide online-education binge set off by the COVID-19 virus to growing cybersecurity and data-protection priorities in online learning environments. Taken as a whole, these trends create a strong requirement for flexible yet trustworthy authentication systems that protect user identity without a loss of usability.

To promote efficient resolution of these challenges, this current work proposes a behavioral authentication framework that incorporates motion sensor information from smartphones-namely, output from accelerometers and gyroscopes. With mobile learning environments as its context of reference, the system aims to promote a reinforcement of security as well as usability through an examination of users’ distinctive motion patterns. With behavioral profiling and machine learning processes as its integrating principles, this suggested solution provides ongoing, context-aware, and transparent authentication that is in conformity with today’ s changing learning platforms’ needs.

Literature Review.

1. Input-Based Behavioral Features

Behavioral authentication (BA) techniques that employ input-based attributes-such as touch interactions and typing behavior-have proven significant promise for real-time user identification on mobile devices. Characteristics such as touchscreen gestures and keystroke dynamics capture unique and frequently difficult-to-imagine user interaction patterns.

Sejjari et al. (2024) recently assessed employing swiping motions to authenticate users persistently on smartphones. Their deep learning system demonstrated an exceedingly low Equal Error Rate (EER) of 0.20%, as it is possible to visualize gesture-based biometry as a potential method of persistent identity authentication [4]. In a similar vein, Lim et al. (2024) explored touchstroke kinetics by considering variables like swipe velocity, pressure, and duration. Employing interpretable

machine learning frameworks-such as decision trees and random forests—their interpretable machine learning models realized EERs ranging from 0.02% to 0.07%. Explaining their AI system as explainable provides a good compromise between achieving high performance as well as having interpretable models [5].

Typing patterns on soft keyboards have also been promising behavioral user profiling. Sağbaş and Ballalı (2024) integrated keystroke dynamics into motion sensor data to capture tiny shifts in grip as well as device micro-movements. Their feature-rotation of correlation-based feature selection as well as logistic regression-based hybrid solution offered 93% classification accuracy along with sub-millisecond time to process, indicating good potential for real-time mobile application [6].

2. Motion-Based Behavioral Features.

Behavior-based motion features-gathered through accelerometers, gyroscopes, and magnetometers-have been a prominent area of focus within continuous authentication. This is mainly because motion sensors have increasingly been a part of smartphones and wearable technology, enabling it to be possible to stealthily capture user behavior in real time.

In a typical example, Mekruksavanich and Jitpattanakul (2024) offered SE-DeepConvNet, a convolution network enriched with squeeze-and-excitation modules. Tested on gait activities from the USC-HAD dataset, the model scored a perfect classification score of giving 100% accuracy and a 0% Equal Error Rate (EER) [7]. In yet another work, Alawami et al. (2024) provided MotionID-a motion-authentication system designed to operate under real operational conditions, considering sensor noise as well as sampling variations. Their system scored an F1-value of as much as 98.5% under controlled environments and about 90% in more varied real-world environments [8].

Gait-anchored identification methods have come under consideration as well. Kokal et al. (2024) employed ensemble classifiers such as Random Forest and XGBoost to discern users from their gait patterns. Their results indicated strong classification accuracy, even if the authors did promote further testing under wider real-world situations [9]. To supplement this, Cariello et al. (2024) set out SMARTCOPE-a context-aware system that automatically detects when a device is being passed from user to user. The system significantly decreased the EER from 7.8% to 4.6% while compressed its intrusion into the user experience to a minimum [10].

Later, transformer-based frameworks have been used in motion-based authentication. Li et al. (2024) proposed FuMeAuth that fused accelerometer, gyroscope, and magnetometer signals by memory-augmented Transformer networks. Their network stated 99.84% accuracy and a 0.14% EER on large-scale datasets [11]. Along a similar line, Delgado-Santos et al. (2023) proved that CNN and RNN-based methods were outclassed by gait biometric tasks by employing whuGAIT and OU-ISIR datasets [12]. Continuing their work further, the authors in a subsequent work put forward M-GaitFormer as a model that only used accelerometer and gyroscope signals. This system provided better performance compared to traditional methods as it reached an EER of 3.42% and 2.90% on benchmark datasets [13].

3.Machine Learning Architectures for Behavioral Authentication.

Deep learning and machine learning methods of an advanced order are increasingly being used to extract and represent behavioral patterns to be used as authenticators. Vision Transformer (ViT)-motivated architecture methods and hybrid learning models are increasingly picking up steam because of their multimodal and sequential sensor data tackling abilities.

Alotaibi and Alotaibi (2025) proposed a hybrid architecture that converts motion sensor inputs into patch-like patches to be processed through a multi-head attention mechanism and BiLSTM network combination. Their architecture realized classification accuracy of 97.51% on MotionSense and 89.37% on UCI HAR data with good generalizability across a variety of activity realms [14].

Following further development on generative methods, Li et al. (2024) suggested MAuGANs as a new hybrid system that integrates memory-augmented autoencoders along with generative adversarial networks that employ Transformers. Generating Synthetic Impostor Samples (SIPS) this model reached a 99.65% accuracy and 0.33% EER when validating on unseen users beforehand [15]. Likewise, Delgado-Santos et al. (2024) indicated SwipeFormer as a Transformer-based Swipe Gesture Analysis Model that surpassed traditional baselines on benchmark and realistic datasets alike [16].

To tackle the challenge of behavioral drift as time progresses, Shen et al. (2024) proposed IncreAuth as an incremental learning system that combined gradient-boosted decision trees and deep neural networks. This model remained stably authenticatable on unconstrained datasets, wherein user behavior could change drastically [17].

Yang et al. (2024) made a suggestion of CALL, an unsupervised authentication system that utilizes low-rank Transformers and spatial ranking techniques. The system realized Equal Error Rates of 3.86%, without labeled training data [18]. To effectively tackle the trivial problem of a scarcity of impostor data, Li et al. (2024) suggested AEGANAuth having a CVAE-GAN architecture and error measures of reconstruction, to realize a classification accuracy of 97.85% [19].

Nguyen et al. (2024) provided BehaveFormer, a dual-attention Transformer network tailored for multichannel time-series sensor data. They generated systems that resulted in less than 3% EER for keystroke- and swipe-based authentication tasks [20]. Meanwhile, Kumari et al. (2023) made use of conventional ensemble classifiers-old girl(Random Forest and LightGBM-to sensor data gathered from a number of body positions. Their system reached a maximum of 98.8% accuracy as it optimized performance by employing Recursive Feature Elimination (RFE) [21].

4. Applications in Education and Emerging Modalities.

Behavioral authentication methods have been further attempted in teaching and cognitive monitoring situations. For example, Gunawardena et al. (2023) made a survey of portable eye-tracking systems with a view to their application in teaching situations while meanwhile pointing out drawbacks concerned with complexity of calibration and sensibleness of hardware [22].

In another context, Nosrati et al. (2024) proposed a voice-based bank-based authentication system that proved highly robust against background noise as well as speaker orientation variations. Mel-frequency cepstral coefficients (MFCCs) along with fuzzy support vector machines (SVMs) optimized by metaheuristic algorithms were employed in this system to yield an accuracy of 98.29% [23].

Cao et al. (2024) proposed HandKey, a new keyless entry system from distinctive vibration patterns caused by door knock gestures. As a variant, HandPass (Cao et al., 2023) also took advantage of natural hand-device interactions and matching vibration outputs to realize passive user verification. Both techniques demonstrated strong spoof-attack resistance and thus have a promising application in safe access systems [24, 25].

Zhang et al. (2023) put forward a multi-sensor authentication system that combined physiological and behavioral signals. Their system utilized Kalman filtering to improve signals and deployed Siamese neural networks to achieve similarity scoring. It provided a promising blend ofstrength and userfriendliness that proved especially good in situations where signal ruthlessness could be an issue [26].

5. Challenges and Limitations.

Even from significant breakthroughs, behavioral authentication systems have yet to evade a set of technical and practical difficulties. Principal among these are sensor-level noise, behavioral long-term drift, susceptibility to adversarial manipulation, and a lack of available impostor data under field conditions.

To cope with such issues, Chen et al. (2024) put forward SSPRA as an input perturbation resistance system. By embedding dual fusion mechanisms and Markov modeling, SSPRA proved stronger

resistance to zero-effort intrusions as well as against selective attacks and proved promising in its safer application in changing environments [27].

Beyond authentication itself, trust assessment in mobile environments has increasingly been a subject of investigation. While indirectly concerned with behavioral biometrics, Li and Li' s (2024) framework is pertinent. Their principle-assumptions model of distributed trust control is centered on adaptive reliability and contextual risk assessment-ideas that might guide further work in developing more sophisticated and adaptive behavioral authentication systems [28].

Materials and Methods. This section gives an elaborate explanation of mathematical formulas used in this work besides developing a logical approach to calculating important performance parameters (IPPs). It also presents computational approach as well as decision-making algorithms used in user authentication within the mobile application.

The section comprises systematic analysis of logic behind computation of KPI, detailing stepwise working of information processing flow along with incorporation of algorithm that enables efficient and precise verification of users. By integrating theoretical modeling along with applied algorithmic approach, the section reveals approach adopted in a systematic mode to enhance reliability of mobile authentication system along with its overall performance.

1. Behavioral Data Collection Using Smartphone Sensors.

Smartphone sensors, especially accelerometers and gyroscopes, play a central role in behavioral authentication systems by registered motion and orientation information that indicate person-specific patterns of device usage. The accelerometer is responsible for linear acceleration along three axes of space (X, Y, and Z) so that it is possible to register displacements of the device position and user-elicited movements. These signals are used to deduce how a user usually holds and handles a device when it is put into common use.

Gyroscope, meanwhile, estimates angular velocity to impart refined information about rotational activity of the device. This information is particularly significant to estimate orientation of the screen and spatial orientation. When combined together, accelerometer and gyroscope inputs allow drawing of rich behavioral features upon which authentication model is constructed.

2. Device Parameters and Correlation Coefficients.

Pearson correlation coefficient to estimate linear associations between variables and is core to the decision-making algorithm. There are two forms of sensor input that this model incorporates: gyroscope data and accelerometer data. The aggregate correlation coefficient (labeled k) is an expression of combined sensor effect and is computed through Equation (1):

$$k = \frac{1}{2}(k_g + k_a) \tag{1}$$

k - general correspondence coefficient;

k_g - gyroscope correlation coefficient;

k_a - accelerometer correlation coefficient.

At the initial step, we will find an individual correlation of accessible indicators -accelerometer and gyroscope. As it is equal to three parameters of the gyroscope (X, Y, and Z axes) of the overall gyroscope, its preliminary weight of a correlation will be defined by Equation (2).

$$k_g = \frac{1}{3}(k_x + k_y + k_z) \tag{2}$$

where,

k_x - correlation coefficient of the gyroscope' s X-axis;

k_y - correlation coefficient of the gyroscope' s Y-axis;

k_z - correlation coefficient of the gyroscope' s Z-axis.

Calculated from Equation (3) is the correlation of each parameter:

$$k_x = \frac{x_{avg} * x}{\sigma_{x_2}\sigma_{x_1}} \tag{3}$$

This is an example of a calculation of a correlation of a X-axis as follows:

x_{avg} - the average value of all X-axis readings in a single test;

x - the initial X-axis value during testing;

σx_1 - the standard deviation of the first test value;

σx_2 - the standard deviation of the second test value.

3. Population Standard Deviation.

To determine the overall correlation, we should first work out a standard deviation of each of the parameters that come into question. Standard deviation is a basic statistics measure that expresses a number to measure how much a collection of variants varies from its mean. It indicates how much individual numbers bear from a mean of a distribution.

Mathematically, it is given as the positive square root of the mean of squares of all difference of each number from the mean of a dataset. For example, the mathematical expression of population standard deviation is as follows: in Equation (4) below.

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i-1}^{n} (x_i - x_{avg})^2}}{n-1} \qquad (4)$$

where,

n - number of experimental values;

x_i - experimental value;

$\sum_{i=1}^{n} x_i$ - sum of experimental values.

2. To compute mean deviation of two compared parameters of a given parameter (first and second) from their calculated average, each is subtracted from the mean. Obtained differences thus give an estimate of mean deviation of the first indicator. This is expressed formally in Equation (5) below.

$$x_i - x_{avg} \qquad (5)$$

These steps present the format of procedure to compute the population standard deviation of each parameter:

1. The previously calculated deviation values (as provided in Equation 5) are squared.

2. The squared residuals of all test samples of the parameter are added up.

3. The end result is then divided by how many test samples have been made.

4. The square root of this ratio is then found to give you the standard deviation (don’ t mistake this figure as variance which is its unsquared self).

5. The same procedure is done separately for every parameter – affects Y-axis, Z-axis, as well as accelerometer information.

After having calculated all appropriate parameters’ population standard deviation, we will compute a correlation coefficient to each parameter by Equation (3). We will then do the same calculation to gyroscope axes three by Equation (2). We will then sum up results by Equation (1) to give us the overall correlation measure.

4. Decision making algorithm.

Decision-making algorithm is based on the Pearson correlation coefficient, which is a statistical parameter that measures how strong and in which direction a linear relationship between two variables is. It varies from -1 to +1: a result of +1 denotes a perfect linear positive correspondence, 0 denotes no linear correspondence, and -1 denotes a perfect linear negative correspondence.

For this work, a correlation coefficient near +1 is most desirable because it indicates a strong linear positive relationship between correlated parameters that are being compared. This threshold serves as a basis of user authentication thresholds. Interpretations of Pearson correlation values employed in this system are tabulated in Table 1.

Experimental work

To test the given hypothesis, a number of large experiments have been simulated.100 test users have been divided into five groups of 20 users each.

Since sensor measurements could be subject to variations depending on situations, measurements were made on five controlled situations to determine variations in the X, Y, and Z coordinate positions. These situations are explained as below:

- Phone sitting on a plane: Coordinate values associated will be given in Table 2.

- Phone user in a user-held station: Table 3 presents the data.

- User in a sitting posture: These X, Y, and Z values are tabulated in Table 4.

- User reclining: Table 5 has recorded coordinate data.

- User moving at a speed of 4–5 km/h: The measurements of dynamometer are tabulated in Table 6.

Table 1 - Decision making

Correlation coefficient range	Decision
If (k 0.5)	User identified
If (k 0.5) and (k 0)	User identity is questionable
If (k 0)	User not identified

Table 2 - Condition 1. When the phone is on the surface

Group	X_{avr}	Y_{avr}	Z_{avr}	A_{avr}
1	+0.01	0.00	0.00	0.01
2	0.00	+0.015	0.00	0.00
3	-0.01	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.01	0.00
5	0.00	-0.01	+0.01	0.00

Table 3 - State 2. When a person holds the phone stationary (0 km/h)

Group	X_{avr}	Y_{avr}	Z_{avr}	A_{avr}
1	+0.03	+0.02	+0.01	1.32
2	-0.5	-0.06	+0.02	2.6
3	-0.04	+0.08	-0.04	1.87
4	+0.06	-0.03	+0.03	2.63
5	+0.09	+0.02	-0.05	1.1

Table 4 - State 3. When a person is sitting

Group	X_{avr}	Y_{avr}	Z_{avr}	A_{avr}
1	+0.01	-0.05	+0.04	0.37
2	+0.03	-0.06	+0.05	0.78
3	+0.02	-0.08	+0.04	0.63
4	-0.01	-0.07	+0.05	1.02
5	+0.02	-0.06	+0.05	0.86

Table 5 - Condition 4. When a person lies

Group	X_{avr}	Y_{avr}	Z_{avr}	A_{avr}
1	+0.01	-0.15	+0.06	1.10
2	-0.08	-0.11	-0.01	1.35
3	-0.07	-0.13	+0.05	1.32
4	-0.10	-0.16	+0.04	1.56
5	-0.11	-0.25	+0.03	1.24

Table 6 - Condition 5. When a person walks at an average speed of 4-5 km/h.

Group	X_{avr}	Y_{avr}	Z_{avr}	A_{avr}
1	-0.16	-0.35	+3.05	2.93
2	+1.23	+2.28	+1.76	3.05
3	+0.18	+1.86	+0.97	2.35
4	-1.36	+2.32	-2.17	2.12
5	+0.29	+0.96	+0.56	1.98

Experimental results revealed that Condition 2—if users keep their phones in their hands—is the most appropriate situation to effectively estimate the correlation coefficient. When this condition is set, behavioral signals are strong and distinctive enough to facilitate safe user identification.

To compare the effectiveness of the authentication approach, correlation coefficients were compared under each experiment condition. Result is divided into two test cases:

Case 1: Same user signs into the system twice.

Case 2: When two different users login to access the system.

Condition 1: Repeated login by the same user

Step 1: Computation of the correlation coefficient of the X-axis from two login attempts of a same user.

Step 2: It is calculated by the formulas below:

1) The mean deviation is: $x_{avg} = -5,264 - 3,44 = 1,06$;

2) Variance $= x_2 = 1.06^2 = 1.13$;

3) Square of the two mean deviations of the test values: $= 1,13 * 1,111069206 = 1,1215880186$.

Calculating the X-axis correlation of the same person.

$$k_x = \frac{x_{avg} * x}{\sigma_{x_2} * \sigma_{x_1}} = 0,757535214$$

Calculating the Y-axis correlation

$$k_y = \frac{y_{avg} * y}{\sigma_{y_2} * \sigma_{y_1}} = 0,7633229$$

Calculation of correlation along the Z axis:

$$k_z = \frac{z_{avg} * z}{\sigma_{z_2} * \sigma_{z_1}} = 0,08977132$$

4) Total correlation coefficient:

$$k_g = \frac{1}{3}\left(k_x + k_y + k_z\right) = \frac{1}{3}(0,757535214 + 0.7633229 + 0.08977132) = 0,806190438$$

Calculation of correlation A:

$$k_a = \left(\frac{A_{avg} * A}{\sigma_{A_2} * \sigma_{A_1}}\right) = 0,524778876$$

General ratio of one person:

$$k = \frac{1}{2}\left(k_g + k_a\right) = \frac{1}{2}(0,806190438 + 0,524778876) = 0,665484657$$

Condition 2. When two different people enter the system.
Calculate X-axis correlation.

$$k_x = \frac{x_{avg} * x}{\sigma_{x_2} * \sigma_{x_1}} = 0,131932012$$

Calculating the Y-axis correlation:

$$k_y = \frac{y_{avg} * y}{\sigma_{y_2} * \sigma_{y_1}} = 0,405104411$$

Calculating the correlation along the Z axis:

$$k_z = \frac{z_{avg} * z}{\sigma_{z_2} * \sigma_{z_1}} = 0,130146264$$

4) Total correlation coefficient:

$$k_g = \frac{1}{3}\left(k_x + k_y + k_z\right) = \frac{1}{3}(-0,131932012 + 0.405104411 + 0.130146264) = 0,403318663$$

Calculation of correlation A:

$$k_a = \left(\frac{A_{avg} * A}{\sigma_{A_2} * \sigma_{A_1}}\right) = 0,497473449$$

General ratio of two people:

$$k = \frac{1}{2}\left(k_g + k_a\right) = \frac{1}{2}\left(0,403318663 + (-0,497473449)\right) = -0,047077393$$

The hypothesis was tested through a series of large-scale experiments involving five groups of 20 participants each. Sensor data were collected under five controlled conditions:

1. when the phone was placed on a flat surface,
2. when held stationary by the user,
3. when the user was seated,
4. when lying down, and
5. while walking at a speed of 4-5 km/h.

Among these situations, highest correlation coefficients were regularly found under Condition 2-the user standing completely still to hold the phone-in signalling it as the most convenient setting to achieve good user authentication.

To compare the system performance, two principal cases have been obtained from dividing test results:

- Case 1: The same individual logged into the system twice.

- Case 2: Two different individuals attempted to log in.

For all of these conditions and test cases, we calculated a set of correlation coefficients along the X, Y, and Z axes as well as accelerometer magnitude (A) axes. Individual measurements from these were subsequently aggregated to compute an overall correlation coefficient so that an all-inclusive behavioral similarity analysis could be conducted across situations.

Results and Discussions. This work explored the possibility of employing motion-based user authentication from smartphone sensor data, namely from gyroscope and accelerometer sensors. Three different user situations: resting, standing, and walking, were chosen as situations to be evaluated. Results proved that phone location is of decisive importance to authenticate device accuracy. Of all evaluated cases, resting, where user placed the phone firmly against his body, resulted in the highest and most consistent identification results as well as highest correlation coefficient in all evaluated cases.

With regard to standing or walking, sensor data generated from its resting state contained much lower variability, further boosting that of the correlation-based authentication model. These results indicate that reduced motion artifact and invariant device orientation can significantly enhance recognition accuracy. These results further highlight inter-user condition distinctions that call for integrating contextual awareness into smartphone-based authentication systems.

As a further step to enhance the reliability and effectiveness of behavioral authentication, the incorporation of supplementary data sources is suggested. These might be virtual sensors—inferred measures acquired from sensor fusion or machine learning-based estimators—that can reside on top of more delicate as well as steady behavioral patterns. These additions could result in richer user profiling and error rates lower due to fleeting behavioral variations.

According to these results, a student verification system was constructed applicable to teaching situations, especially to tele-teaching and online testing. This system gave a higher weighting to behavioral data recorded in resting situations when motion signals most stabilized and device stabilities most stabilized as user-subject specific. While motion and standing situations also yielded workable data results, higher variability in those situations resulted in lower authentication certainty.

As a whole, the results confirm that sensor placement as well as behavioral context play a significant role in developing secure and efficient user-friendly mobile-authentication systems. These findings have particular significance in online-class platforms, where ongoing and real user identification is necessary to preserve college/integrity and protect individual information.

Conclusion. This work proposed a behavioral-based model of smartphone users to enhance security in cognitively aware educational platforms. Utilizing motion sensor information, namely gyroscope and accelerometer measurements, the system allows context-aware verification to be performed at all times through individual patterns of interaction. Test results validated that proper device positioning, especially when resting, effectively

improved authentication correctness significantly, further supporting its application in mobile learning environments.

Notwithstanding its prospective performance, some implementation issues remain. These are protection of user privacy, providing ubiquity in differently behavioral contexts, and avoidance of vulnerability to spoofing or adverse manipulation. To enhance reliability as well as user acceptability, future work must look into a hybrid authentication system that integrates behavioral information with conventional credentials like passwords or biometric signatures.

Further maturation of behavioral authentication systems will be facilitated by growing the pool of compared features—such as gesture dynamics, input behavior, and usage patterns—as well as improving underlying algorithms to allow superior scalability and robustness. Incorporating real-time learning mechanisms could also facilitate improved personalization and adaptability to user-generic behavior with time.

Overall, behavioral authentication is a significant step towards safe and user-friendly learning systems. Addressing security measures to natural behavioral patterns, such patterns can facilitate data security as well as user activity and push forward trusted, efficient, as well as adaptive learning platforms online.

Funding. *This research has been/was/is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR24993072).*

References

1. Schewina K. I., Clausen S., Basyurt A. S., Stieglitz S. Information privacy and user satisfaction in mobile applications: A cross-national analysis// International Conference on Information Systems (ICIS), AIS Electronic Library. -2024.

2. Kocsis D., Shepherd M., Segal D. L. Cyber hygiene training: Using a Salesforce developer module to improve student online behaviors//Journal of Information Systems Education. -2025. -Vol.36(2). -P.90-110. DOI 10.62273/CUEU6233.

3. Liébana-Cabanillas F., Kalinic Z., Muñoz-Leiva F., Higueras-Castillo E. Biometric m-payment systems: A multi-analytical approach to determining use intention//Information & Management. -2024. -Vol.61 (2): 103907. DOI 10.1016/j.im.2023.103907.

4. Sejjari A., Moujahdi C., Assad N., Haidine A. Dynamic authentication on mobile devices: Evaluating continuous identity verification through swiping gestures // Signal, Image and Video Processing. -2024. -Vol.18. -P.9095-9193. DOI 10.1007/s11760-024-03532-3.

5. Lim W.P., Ooi S.Y., Pang Y.H., Ramalingam S., Chew Y.J. Dynamic touchstroke analysis with explainable artificial intelligence tree-based learners // Journal of Telecommunications and the Digital Economy. -2024. -Vol.12(4). -P.137-161. DOI 10.18080/jtde.v12n4.1023.

6. Sağbaş E.A., Ballı S. Machine learning-based novel continuous authentication system using soft keyboard typing behavior and motion sensor data // Neural Computing and Applications. - 2024. -Vol.36. -P. 5433-3445. DOI 10.1007/s00521-023-09360-9.

7. Mekruksavanich S., Jitpattanakul A. Wearable sensor-based behavioral user authentication using a hybrid deep learning approach with squeeze-and-excitation mechanism//Computers. -2024. -Vol.13(12): 337. DOI 10.3390/computers13120337.

8. Alawami M.A., Abuhmed T., Abuhamad M., Kim H. MotionID: Towards practical behavioral biometrics-based implicit user authentication on smartphones // Pervasive and Mobile Computing. -2024. -Vol.83: 101922. DOI 10.1016/j.pmcj.2024.101922.

9. Kokal S., Vanamala M., Dave R. Analysis of gait motion sensor mobile authentication with machine learning // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. -2024. -Vol.15(3): 9-15. DOI 10.14569/IJACSA.2024.0150302.

10. Cariello N., Levine S., Zhou G., Hoplight B., Gasti P. SMARTCOPE: Smartphone Change Of Possession Evaluation for continuous authentication // Pervasive and Mobile Computing. -2024. -Vol.97: 101873. DOI 10.1016/j.pmcj.2023.101873.

11. Li Y., Huang Y., Huang H. FuMeAuth: Sensor-based continuous authentication using fused memory-augmented transformer autoencoder//IEEE Internet of Things Journal. -2024. -Vol.11(15). -P. 26340-26351. DOI 10.1109/JIOT.2024.3394437.

12. Delgado-Santos P., Tolosana R., Guest R., Deravi F., Vera-Rodriguez R. Exploring transformers for behavioural biometrics: A case study in gait recognition // Pattern Recognition. - 2023. - Vol.143: 109798. DOI 10.1016/j.patcog.2023.109798.

13. Delgado-Santos P., Tolosana R., Guest R., Vera-Rodriguez R., Fierrez J. M-GaitFormer: Mobile biometric gait verification using Transformers // Engineering Applications of Artificial Intelligence. - 2023. -Vol. 125: 106682. DOI 10.1016/j.engappai.2023.106682.

14. Alotaibi B., Alotaibi M. Hybrid deep learning framework for continuous user authentication based on smartphone sensors // Sensors. -2025. -Vol.25(9): 2817. DOI 10.3390/s25092817.

15. Li Y., Liu L., Deng S., Qin H., El-Yacoubi M.A. Memory-augmented autoencoder-based continuous authentication on smartphones with conditional transformer GANs//IEEE Transactions on Mobile Computing. -2024. -Vol.23(5). -P.4467-4482. DOI 10.1109/TMC.2023.3290834.

16. Delgado-Santos P., Tolosana R., Guest R., Lamb P., Khmelnitsky A., et al. SwipeFormer: Transformers for mobile touchscreen biometrics // Expert Systems with Applications. -2024. -Vol.237(Part C): 121537. DOI 10.1016/j.eswa.2023.121537.

17. Shen Z., Li S., Zhao X., Zou J. IncreAuth: Incremental-learning-based behavioral biometric authentication on smartphones // IEEE Internet of Things Journal. -2024. -Vol.11(1). -P. 5674–5687. DOI 10.1109/JIOT.2023.3289935.

18. Yang Z., Li Y., Zhou G. Unsupervised sensor-based continuous authentication with low-rank transformer using learning-to-rank algorithms // IEEE Transactions on Mobile Computing. - 2024. - Vol.23(9). -P. 8839-8854. DOI 10.1109/TMC.2024.3353209.

19. Li Y., Ouyang C., Huang H. AEGANAuth: Autoencoder GAN-based continuous authentication with conditional variational autoencoder generative adversarial network // IEEE Internet of Things Journal. -2024. -Vol.11(16). -P.27635-27650. DOI 10.1109/JIOT.2024.3399549.

20. Nguyen K.-N., Rasnayaka S., Wickramanayake S., Meedeniya D., Saha S., Sim T. Spatio-Temporal Dual-Attention Transformer for Time-Series Behavioral Biometrics//IEEE Transactions on Biometrics, Behavior, and Identity Science. - 2024. -Vol.6(4). -P. 591-601. DOI 10.1109/TBIOM.2024.3394875.

21. Kumari S., Singh K., Khan T., Ariffin M. M., Mohan S. K., et al. A novel approach for continuous authentication of mobile users using reduce feature elimination (RFE): A machine learning approach // Mobile Networks and Applications. -2023. -Vol.28. -P.767–781. DOI 10.1007/s11036-023-02103-z.

22. Gunawardena N., Ginige J. A., Javadi B. Eye-tracking technologies in mobile devices using edge computing: A systematic review // ACM Computing Surveys. -2023. -Vol.55(8): 158. DOI 10.1145/3546938.

23. Nosrati L., Bidgoli A.M., Javadi H.H.S. Machine learning and metaheuristic algorithms for voice-based authentication: A mobile banking case study // International Journal of Computational Intelligence

Systems. -2024. -Vol.17: 287. DOI 10.1007/s44196-024-00690-7.

24. Cao H., Liu D., Jiang H., Cai C., Zheng T., Lui J.C.S. HandKey: Knocking-Triggered Robust Vibration Signature for Keyless Unlocking // IEEE Transactions on Mobile Computing. -2024. -Vol.23(1). -P.520-534. DOI 10.1109/TMC.2022.3216868.

25. Cao H., Jiang H., Yang K., Chen S., Wu W., et al. Data-Augmentation-Enabled Continuous User Authentication via Passive Vibration Response // IEEE Internet of Things Journal. -2023. -Vol.10(16). -P.14137–14151. DOI 10.1109/JIOT.2023.3264274.

26. Zhang J., Li Z., Zhang H., Zhang W., Ling Z., et al. Sensor-based implicit authentication through learning user physiological and behavioral characteristics // Computer Communications. -2023. -Vol.208(C). -P.244–255. DOI 10.1016/j.comcom.2023.06.016.

27. Chen F., Xin J., Phoha V.V. SSPRA: A robust approach to continuous authentication amidst real-world adversarial challenges // IEEE Transactions on Biometrics, Behavior, and Identity Science. -2024. -Vol.6 (2). -P.245-260. DOI 10.1109/TBIOM.2024.3369590.

28. Li X., Li R. A trustworthiness evaluation mechanism based on principles-assumptions model// IEEE Internet of Things Journal. -2024. -Vol.11(10). -P.17510-17524. DOI 10.1109/JIOT.2024.3357705.

Сведения об авторах

Сербин В.В. - кандидат технических наук, Ассоциированный профессор Satbayev University, Алматы, Казахстан, e-mail:v.serbin@satbayev.university;

Қасенхан А.М. - доктор Ph.D, Satbayev University, Алматы, Казахстан, e-mail: a.kassenkhan@satbayev.university;

Кальпеева Ж.Б. - доктор Ph.D, Satbayev University, Алматы, Казахстан, e-mail: z.kalpeyeva@satbayev.university;

Ускенбаева Р.К. - доктор технических наук, Профессор, Satbayev University, Алматы, Казахстан, e-mail: r.k.uskenbayeva@satbayev.university.

Information about the authors

Serbin V.V. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: v.serbin@satbayev.university;

Kassenkhan A.M. - PhD, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: a.kassenkhan@satbayev.university;

Kalpeyeva Zh.B. - доктор PhD, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: z.kalpeyeva@satbayev.university;

Uskenbayeva R.K. - Doctor of technical sciences, Professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: r.k.uskenbayeva@satbayev.university.

МРНТИ 20.15.05 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1021**

РАЗРАБОТКА МОДУЛЕЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КАРТОГРАФИЧЕСКОГО РЕСУРСА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ДАЛЬНЕЙШЕЙ ИНТЕГРАЦИИ С ДРУГИМИ ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ

[1]А.У. Калижанова, [1]А.У. Утегенова, [2]Е.А. Бекешев, [3]М.А. Ворогушина, [3]З.М. Рахимжанова

[1]Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Алматы, Казахстан,
[2]Филиал республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Инфракос» в г. Алматы, Алматы, Казахстан,
[3]НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», Алматы, Казахстан

Корреспондент-автор: z.rakhimzhanova@aues.kz

В статье рассмотрены этапы проектирования многофункциональной картографической платформы, предназначенной для оценки промышленного воздействия на окружающую среду в районах падения отработанных ступеней ракет-носителей и прилегающих территорий. Система построена по модульному принципу, что позволяет гибко интегрировать различные типы данных: о землепользовании, климатических условиях, хозяйственной деятельности, источниках загрязнения и природоохранных мероприятиях. Для обеспечения высокой точности анализа используются современные геоинформационные технологии (ГИС), данные дистанционного зондирования Земли и методы пространственного моделирования. Это дает возможность комплексно оценивать экологические риски, прогнозировать последствия антропогенного воздействия и оперативно корректировать природоохранные стратегии. Разработан ресурс обеспечивающий сбор, хранение и систематическое обновление данных, а также их визуализацию на электронных картах. Платформа поддерживает автоматизированное формирование экологических паспортов территорий, что упрощает процедуру мониторинга и отчетности.

Реализованный подход повышает эффективность управления экологической безопасностью, способствует принятию обоснованных решений и минимизации ущерба природным экосистемам. Для расширения функциональных возможностей разработанное решение может быть интегрировано с другими информационными системами.

Перспективным направлением развития ресурса является создание долгосрочного архива экологических данных для совершенствования природоохранных стратегий.

Ключевые слова: экологический мониторинг, ГИС, зоны падения, картографический ресурс, модуль, загрязнение, интеграция данных.

БАСҚА АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕРМЕН ӘРІ ҚАРАЙ ИНТЕГРАЦИЯЛАНУ МҮМКІНДІГІ БАР КӨПФУНКЦИОНАЛДЫ КАРТОГРАФИЯЛЫҚ РЕСУРСТЫҢ МОДУЛЬДЕРІН ӘЗІРЛЕУ

[1]А.У. Калижанова, [1]А.У. Утегенова, [2]Е.А. Бекешев, [3]М.А. Ворогушина, [3]З.М. Рахимжанова

[1]ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» РМК, Алматы, Қазақстан,
[2]Шаруашылық жүргізу құқығындағы «Инфракос» республикалық мемлекеттік кәсіпорнының Алматы қаласындағы филиалы, Алматы, Қазақстан,
[3]КеАҚ «Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті», Алматы, Қазақстан, e-mail: z.rakhimzhanova@aues.kz

Мақалада зымыран тасығыштардың пайдаланылған сатыларының құлау аймақтары мен оған іргелес аудандарда қоршаған ортаға өнеркәсіптік әсерді бағалауға арналған көпфункционалды картографиялық платформаны жобалау кезеңдері қарастырылған. Жүйе модульдік принцип бойынша құрылған, бұл әртүрлі деректер түрлерін: жерді пайдалану, климаттық жағдайлар, шауашылық қызмет, ластану көздері және табиғатты қорғау шаралары икемді түрде біріктіруге мүмкіндік береді. Талдаудың жоғары дәлдігін қамтамасыз ету үшін заманауи геоақпараттық технологиялар

(ГАЖ), Жерді қашықтықтан зондтау деректері және кеңістіктік модельдеу әдістері қолданылады. Бұл экологиялық тәуекелдерді кешенді бағалауға, антропогендік әсердің салдарын болжауға және табиғатты қорғау стратегияларын жедел түзетуге мүмкіндік береді. Әзірленген ресурс деректерді жинауды, сақтауды және жүйелі түрде жаңартуды, сондай-ақ оларды электрондық карталарда бейнелеуді қамтамасыз етеді. Платформа аумақтардың экологиялық паспорттарын автоматтандырылған қалыптастыруды қолдайды, бұл мониторинг пен есеп беру рәсімін жеңілдетеді. Іске асырылған тәсіл экологиялық қауіпсіздікті басқарудың тиімділігін арттырады, негізделген шешімдер қабылдауға және табиғи экожүйелерге залалды азайтуға ықпал етеді. Функционалдылықты кеңейту үшін әзірленген шешімді басқа ақпараттық жүйелермен біріктіруге болады. Ресурсты дамытудың перспективалық бағыты табиғат қорғау стратегияларын жетілдіру үшін экологиялық деректердің ұзақ мерзімді мұрағатын құру болып табылады.

Түйін сөздер: экологиялық мониторинг, ГАЖ, құлау аймақтары, картографиялық ресурс, модуль, ластану, деректерді интеграциялау.

DEVELOPMENT OF MODULES FOR A MULTIFUNCTIONAL CARTOGRAPHIC RESOURCE WITH THE POSSIBILITY OF FURTHER INTEGRATION WITH OTHER INFORMATION SYSTEMS

[1]A.U. Kalizhanova, [1]A.U. Utegenova, [2]Y.A. Bekeshev, [3]M.A. Vorogushina, [3]Z.M. Rakhimzhanova

[1]Institute of Information and Computing Technologies of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan,
[2]Branch office of the Republican State Enterprise on the right of economic management «Infracos» in Almaty, Almaty, Kazakhstan,
[3]NPJSC "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev", Almaty, Kazakhstan,
e-mail: z.rakhimzhanova@aues.kz

The article discusses the design stages of a multifunctional cartographic platform designed to assess the industrial impact on the environment in the fall areas of spent launch vehicle stages and adjacent territories. The system is based on a modular principle, which allows flexible integration of various types of data: on land use, climatic conditions, economic activity, sources of pollution and environmental protection measures. Modern geoinformation technologies (GIS), remote sensing data, and spatial modeling methods are used to ensure high accuracy of the analysis. This makes it possible to comprehensively assess environmental risks, predict the consequences of anthropogenic impact, and promptly adjust environmental strategies. A resource has been developed that provides for the collection, storage and systematic updating of data, as well as their visualization on electronic maps. The platform supports the automated generation of environmental passports of territories, which simplifies the monitoring and reporting procedure. The implemented approach increases the effectiveness of environmental safety management, promotes informed decision-making and minimizes damage to natural ecosystems. To expand the functionality, the developed solution can be integrated with other information systems. A promising area of resource development is the creation of a long-term archive of environmental data to improve environmental strategies.

Keywords: environmental monitoring, GIS, fall zones, cartographic resource, module, pollution, data integration.

Введение. Ракетно-космическая деятельность оказывает значительное влияние на окружающую среду, особенно в районах падения отработавших частей ракет. Для уменьшения этого воздействия нужны инструменты мониторинга и анализа экологической обстановки. Предложенное нами решение – интерактивная модульная картографическая система, каждый компонент которой отвечает за конкретную задачу: сбор, анализ, обработка и визуализация данных о состоянии природы в зонах падения ОЧРН и на прилегающих территориях. Такой подход позволяет подстроить систему под разные требования и сделать экологический кон-

троль более эффективным.

Для выполнения функций, связанных с экологической оценкой и регулированием экологической безопасности картографический ресурс разбит на следующие модули (рис.1):

1) «Общие сведения о предприятии и территории». Компонент определяет принадлежность зоны падения ОЧРН для правильной связки информации с ответственными сторонами. Содержит информацию о:

- координатах зоны падения ОЧРН;

- владельце территории и правовом статусе;

- действующих правилах использования участка;

- ответственном органе за территорию.

2) «Мониторинг природно-климатических условий». Модуль помогает оценить природные особенности территории. Объединены сведения о:

- рельефе местности (горы, равнины, овраги);

- климате (температура, осадки, ветра);

- ландшафте (леса, степи, водоёмы).

3) ”Мониторинг хозяйственной деятельности». Данные этого компонента помогают оценить риски и степень защищенности территории. Здесь указана информацию о:

- населенных пунктах и инфраструктуре;

- производственных объектах;

- источниках загрязнения.

4) «Мониторинг загрязнений» - инструмент для отслеживания, воздействия человека на окружающую среду. Компонент собирает данные о:

- количестве и локализации выбросов загрязняющих веществ;

-степени загрязнения экосистем по ключевым параметрам (атмосферы, почвенного покрова, воды.

5) В компоненте «Ракетно-космическая деятельность»:

- прописаны точные пределы выбросов;

- учтены все виды загрязнений от ракетных запусков;

- описаны методы утилизации опасных материалов;

- указаны способы переработки и повторного использования компонентов.

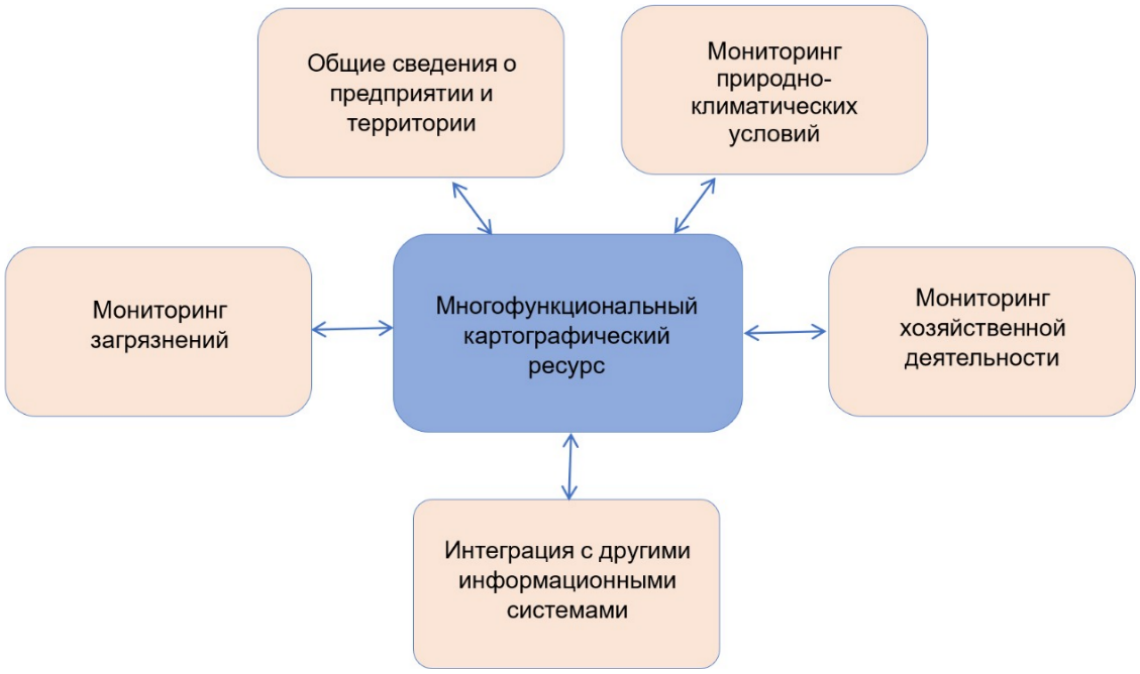


Рис.1 - Модульная структура картографического ресурса

Объединение указанных модулей в одну ГИС и подключение ее к внешним базам данных, дает возможность:

- оптимизации процессов принятия управленческих решений;

- разработки эффективных природоохранных стратегий;

- обеспечения экологической безопасности на территориях, подверженных воздействию космической деятельности.

Материалы и методы. Для разработки многофункциональной картографической системы использована технологии геоинформационного моделирования и данные экологического мониторинга. Особое внимание было уделено возможности объединения данных из разных источников в единую аналитическую платформу [1, 2].

Ключевой особенностью разработки стала модульная архитектура программного обеспечения. Такой подход обеспечивает гибкость системы и позволяет легко наращивать её функциональность по мере необходимости. Также модульная структура упрощает взаимодействие с другими информационными системами.

Комплексный подход разработки сочетает:

- принципы создания геоинформационных систем;

- международные стандарты экологического контроля;

- современные методы анализа пространственных данных;

- технологии моделирования природных процессов.

При этом соблюдены требования международных стандартов ISO в области экологического менеджмента и космической деятельности [3-6], что гарантирует соответствие системы международным требованиям.

Используемые материалы и источники данных. В работе применяются:

- геоинформационные карты – с обозначением зон воздействия и близлежащих

территорий;

- спутниковые снимки (включая детальные изображения среднего и высокого

разрешения) - для дистанционного мониторинга состояния окружающей среды;

- официальные данные - статистика, кадастровая информация, сведения о населённых

пунктах, инфраструктуре и источниках загрязнения;

- нормативные документы - экологические заключения, предельно-допустимых

концентраций вредных веществ, допустимые уровни загрязнения и правила проведения экспертиз.

Для точного оценивания экологической ситуации и принятия решений используются актуальные карты, спутниковые данные, госстатистика и экологические нормы.

Методы анализа. Для изучения взаимосвязей между состоянием окружающей среды, природными факторами и антропогенным воздействием была применена комплексная методика исследования. Основу анализа составил ГИС-подход, при котором различные картографические данные о почвенном покрове, расположении промышленных объектов и уровне загрязнения были совмещены в единой системе координат. Такой пространственный анализ выявил территории с наиболее острыми экологическими проблемами [7, 8].

Важную роль в исследовании играет экспертная оценка квалифицированных специалистов, изучающих все имеющиеся данные и дающих профессиональное заключение о текущей экологической ситуации. Дополнительно проведен статистический анализ, установивший зависимость между географическими характеристиками местности и показателями загрязнения [9, 10].

Разработанная геоинформационная система призвана обеспечить комплексный мониторинг зон падения ОЧРН, включая сбор актуальных данных, прогнозирование возможных последствий и разработку превентивных природо-

охранных мероприятий.

Перспективным направлением является создание долговременного архива экологической информации, который послужит основой для совершенствования стратегий охраны окружающей среды. Реализованный подход позволяет не только фиксировать текущее состояние природных объектов, но и разрабатывать эффективные механизмы предотвращения потенциального экологического ущерба.

Ресурс дает возможность для структуризации данных таким образом, чтобы обеспечить их организованное хранение и удобный поиск для пользователей с разным уровнем подготовки. Для поддержания данных в актуальном состоянии предусмотрена функция их систематического обновления за счет применения автоматизированных инструментов экологического контроля. Интеграция ресурса с существующими системами ГИС позволит визуализировать и изучать пространственные данные с отображением их на электронных картах [11]. Для защиты данных предполагается применение современных способов обеспечения безопасности (криптографическое преобразование, децентрализованное размещение, управление правами). Благодаря применению стандартизированных форматов данных и соблюдению международных норм, ресурс сможет взаимодействовать с существующими платформами экологического мониторинга.

Обсуждения и результаты. На территории Улытауского района Казахстана (рис.2 и 3) расположена зона Ю25, известная как район падения отделяющихся частей ракет-носителей, в частности, входящей в траектории запусков ракет-носителей типа «Союз» и «Энергия». Данный участок служит примером того, как данные, полученные в ходе полевых экологических наблюдений, могут быть успешно интегрированы с положениями нормативных документов в рамках единой геоинформационной платформы. Площадь зоны составляет около 230 тысяч гектаров, что наглядно свидетельствует о возможных масштабах воздействия на экосистемы и необходимости постоянного экологического контроля.

На карте представлены следующие элементы:

- территориальные контуры районов падения ОЧРН;

- обозначенные предохранительные области влияния (радиус 15-25 км вокруг зоны падения);

- отображение траекторий запуска исходя из параметров вывода на орбиту;

- таблица с координатами, радиусами, административными принадлежностями территорий (включая Улытаускую, Карагандинскую, Костанайскую и др. области) (рис.4).

Этот картографический уровень обеспечивает:

- установление точного местоположения на карте и периода времени, в течение которого область испытывает негативное воздействие;

- создание индивидуального отчета на основе точных координат (например, Ю25: 67014’ ВД, 47018’ СШ);

- прогнозирование путей миграции загрязняющих веществ (с учётом рельефа местности, бассейнов водосборов и других факторов);

- передача и обновление информации для построения экологических моделей.

Система работает в двух режимах - пользовательском и операторском (см. рисунки 5 и 6). В простом пользовательском режиме любой пользователь может:

- свободно перемещаться по карте;

- включать/выключать разные слои информации;

- просматривать данные в удобном формате - как текст, таблицы или графики.

Расширенный режим предназначен для специалистов и позволяет:

- редактировать существующую информацию;

- добавлять новые данные мониторинга;

- автоматически формировать отчетные документы.

Такой подход делает систему удобной как для обычных пользователей, так и для специалистов.

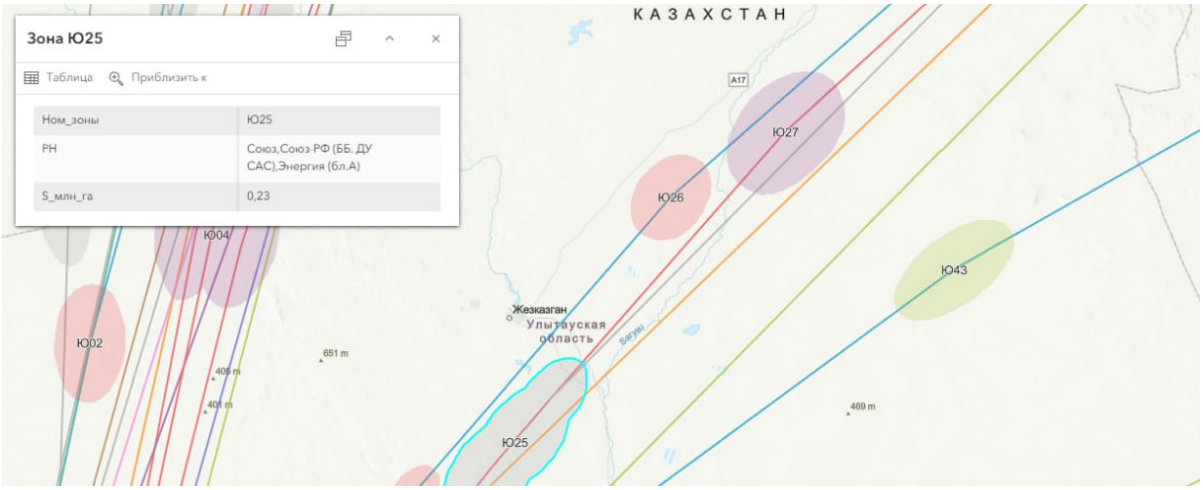


Рис.2 - Геопространственная информация зоны Ю25

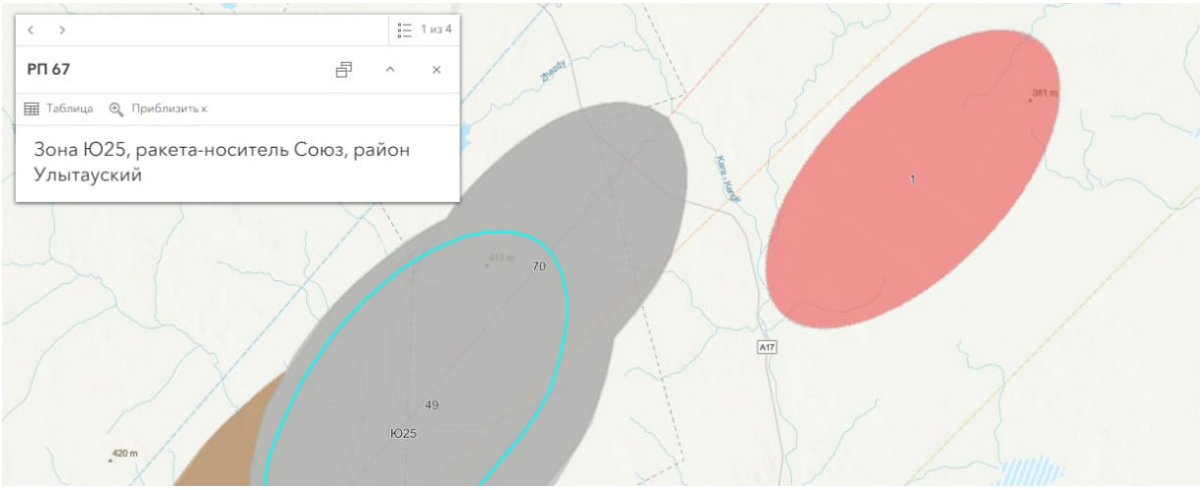


Рис.3 - Зона Ю25 с наложением участков загрязнения

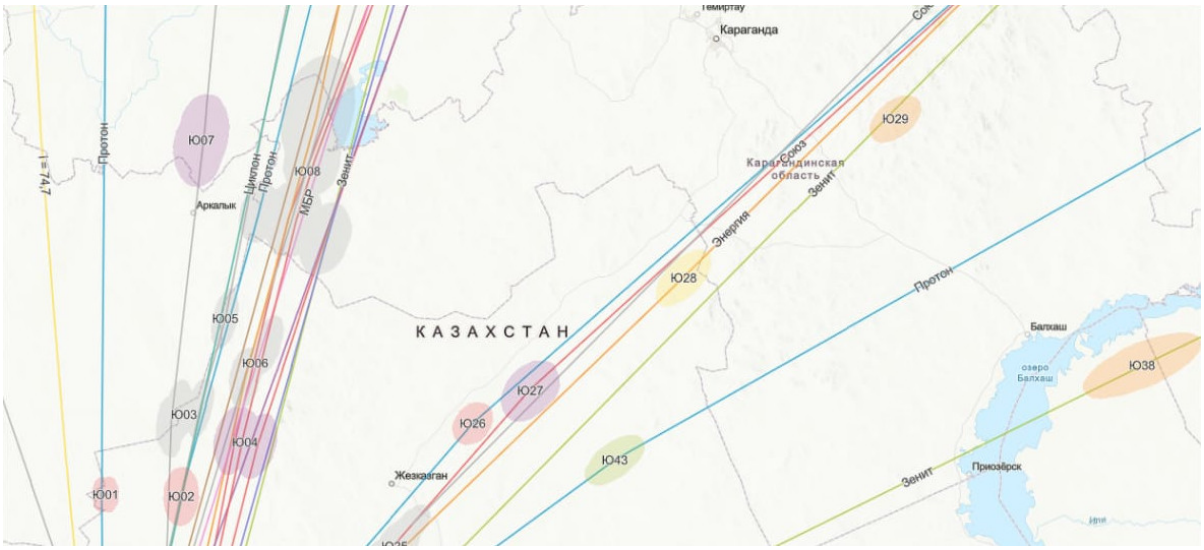


Рис.4 - Схема территорий Ю01-Ю43

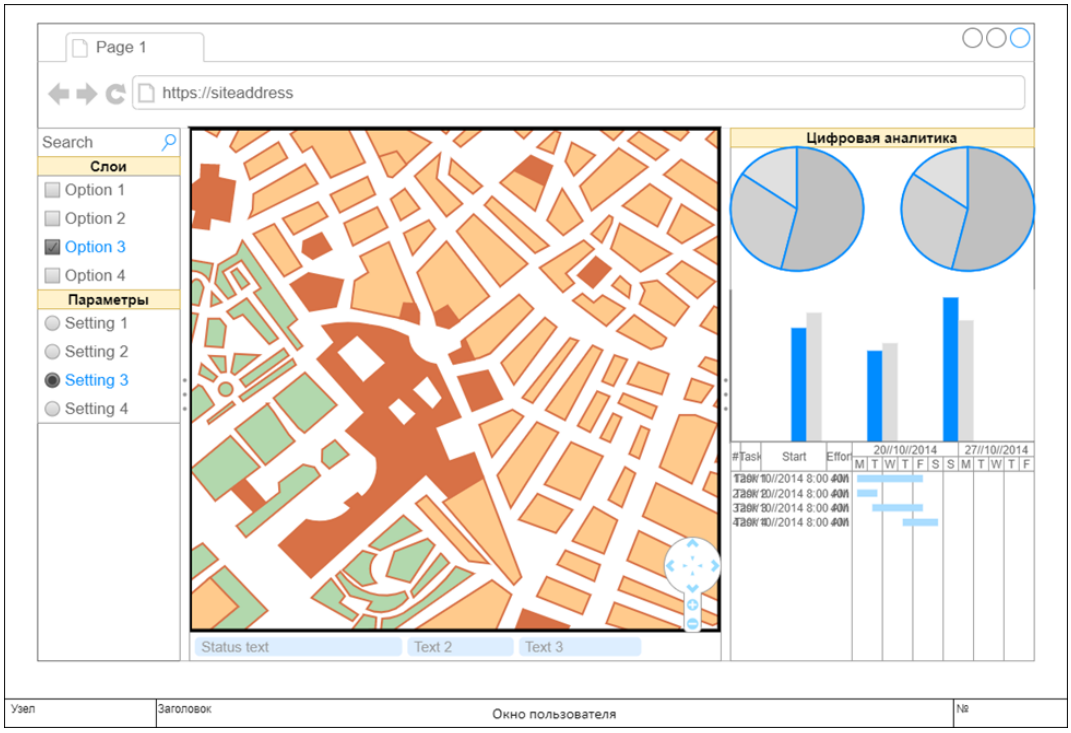


Рис.5 - Режим пользователя

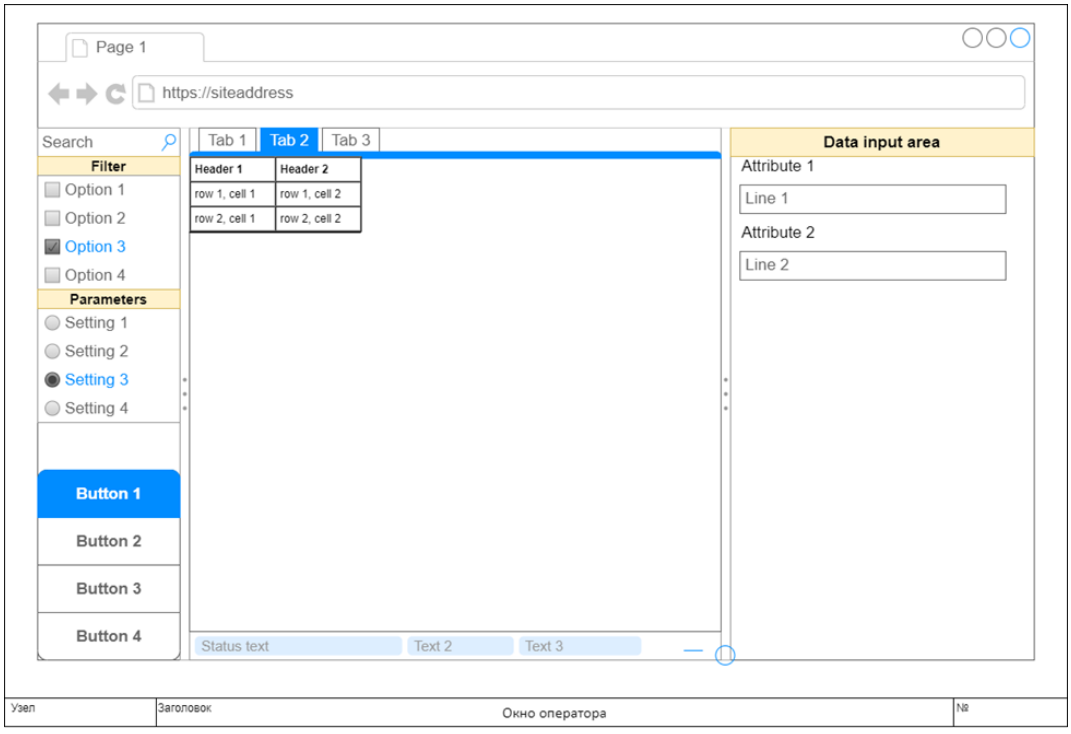


Рис.6 - Расширенный режим работы в системе

Разработанная система позволила перевести экологический контроль в ракетно-космической отрасли в цифровой формат.

Основные преимущества нашего подхода:

- все данные будут собраны в единую систе-

му;

- позволит оперативно выявлять экологические риски;

- даст научное обоснование для методов контроля;

- поможет соблюдать международные экологические нормы.

Представленный к обсуждению картографический ресурс легко интегрируется в аналогичные существующие платформы экологического мониторинга. Благодаря модульному принципу построения, систему можно настраивать для решения широкого спектра задач от экологического мониторинга до научных исследований. Интеграция данных из различных источников (спутниковые изображения, земельный кадастр, отчетная документация и полевые исследования) в единую платформу имеет особую важность. Собранная информация может быть использована для создания экологических паспортов регионов, формирования отчетов в соответствии с международными стандартами, также для прогнозирования результатов падения ОЧРН.

Выводы. В рамках проекта разработана и апробирована модульная ГИС-платформа для экологического контроля в районах падения частей ракет. Эта система позволяет объективно оценивать состояние окружающей среды и делает процесс мониторинга более открытым.

Платформа совместима с другими базами данных, что упрощает работу между различными организациями и регионами. Ее можно применять как для государственного экологического надзора, так и для научных исследований.

В перспективе планируется обеспечение кроссплатформенности системы, размещение и интеграция сети сенсоров в пределах зон падения ОЧРН для дистанционного сбора параметров загрязнения и передачи информации в реальном времени в ГИС-платформу. Система обеспечивает точную географическую привязку, наглядное отображение информации на картах, надежное хранение данных и согласованную работу всех модулей.

Такое решение поможет эффективнее контролировать экологическую обстановку в районах космической деятельности и оперативно реагировать на возможные изменения.

Финансирование. *Исследования при поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках гранта №AP23488291 «Разработка многофункционального ресурса экологической паспортизации районов падения отделяющихся частей ракет-носителей методом адаптивного представления интерактивных ГИС».*

Литература

1. Лисицкий Д.В. Картография в эпоху информатизации: новые задачи и возможности // География и природные ресурсы. - 2016. - № 4. -С. 22-28.

2. Gerasimova M.I., Chernitsova O.V., Vasil’chuk J.Yu., Kosheleva N.E. GIS mapping of the soil cover of an urbanized territory: drainage basin of the Setun river in the West of Moscow (Russian Federation)/ Geography, environment, sustainability. -2024. -Vol.17(2). -P.131-138. DOI 10.24057/2071-9388-2024-3136.

3. Международный стандарт ISO 14001:2004 «Системы экологического менеджмента. требования и руководство по применению». URL: https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14001:ed-2:v1:ru. -Дата обращения 02.06.2025.

4. Стандарт РК 14001-2016 «Системы экологического менеджмента». URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=33001583&show_di=. -Дата обращения 02.06.2025.

5. СТ РК ИСО 14040-2010. Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31399607. -Дата обращения 02.06.2025.

6. ISO 14620-2:2019 «Space systems – Safety requirements. – Part 2: Launch site operation». URL: https:// www.iso.org/standard/74116.html. -Дата обращения 02.06.2025.

7. Курагин А.В., Колесенков А.Н., Костров Б.В. Разработка и анализ методов проектирования геоинформационных систем // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2021. -С.283-287. DOI 10.24412/2071-6168-2021-9-283-287.

8. Kölle M., Walter V., Sörgel U. Building a Fully-Automatized Active Learning Framework for the Semantic Segmentation of Geospatial 3D Point Clouds // Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science. -2024. -Vol.92. -P.131-161. DOI 10.1007/s41064-024-00281-3.

9. Бешенцев А.Н. Научные основы информационной концепции картографического метода исследования//Вестник СГУГиТ. -2018. -Т.23 (1). -С.85-108.

10. Линкина А.В., Лихачев С.А. Применение корреляционного и регрессионного анализа в геоинформационных системах//Воронежский институт высоких технологий. -2022. - № 16(2). - С.80-82.

11. Лисицкий Д.В. Новый аналого-цифровой метод формирования и использования картографического отображения геопространства с применением мультимедийных средств//ИнтерКарто. ИнтерГИС. -2020. -Т.26 (1). -С.361-374. DOI 10.35595/2414-9179-2020-1-26-361-374.

References

1. Lisickij D.V. Kartografija v jepohu informatizacii: novye zadachi i vozmozhnosti // Geografija i prirodnye resursy. - 2016. - № 4. -S. 22-28. [in Russian]

2. Gerasimova M.I., Chernitsova O.V., Vasil’chuk J.Yu., Kosheleva N.E. GIS mapping of the soil cover of an urbanized territory: drainage basin of the Setun river in the West of Moscow (Russian Federation)/ Geography, environment, sustainability. -2024. -Vol.17(2). -P.131-138. DOI 10.24057/2071-9388-2024-3136.

3. Mezhdunarodnyj standart ISO 14001:2004 «Sistemy jekologicheskogo menedzhmenta. trebovanija i rukovodstvo po primeneniju». URL: https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14001:ed-2:v1:ru. -Data obrashhenija 02.06.2025. [in Russian]

4. Standart RK 14001-2016 «Sistemy jekologicheskogo menedzhmenta». URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=33001583&show_di=. -Data obrashhenija 02.06.2025. [in Russian]

5. ST RK ISO 14040-2010. Jekologicheskij menedzhment. Ocenka zhiznennogo cikla. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31399607. -Data obrashhenija 02.06.2025. [in Russian]

6. ISO 14620-2:2019 «Space systems – Safety requirements. – Part 2: Launch site operation». URL: https:// www.iso.org/standard/74116.html. -Data obrashhenija 02.06.2025. [in Russian]

7. Kuragin A.V., Kolesenkov A.N., Kostrov B.V. Razrabotka i analiz metodov proektirovanija geoinformacionnyh sistem // Izvestija Tul’ skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki. - 2021. -S.283-287. DOI 10.24412/2071-6168-2021-9-283-287. [in Russian]

8. Kölle M., Walter V., Sörgel U. Building a Fully-Automatized Active Learning Framework for the Semantic Segmentation of Geospatial 3D Point Clouds // Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science. -2024. -Vol.92. -P.131-161. DOI 10.1007/s41064-024-00281-3.

9. Beshencev A.N. Nauchnye osnovy informacionnoj koncepcii kartograficheskogo metoda issledovanija//Vestnik SGUGiT. -2018. -T.23 (1). -S.85-108. [in Russian]

10. Linkina A.V., Lihachev S.A. Primenenie korreljacionnogo i regressionnogo analiza v

geoinformacionnyh sistemah//Voronezhskij institut vysokih tehnologij. -2022. - № 16(2). - C.80-82. [in Russian]

11. Lisickij D.V. Novyj analogo-cifrovoj metod formirovanija i ispol’ zovanija kartograficheskogo otobrazhenija geoprostranstva s primeneniem mul’ timedijnyh sredstv//InterKarto. InterGIS. -2020. -T.26 (1). -S.361-374. DOI 10.35595/2414-9179-2020-1-26-361-374. [in Russian]

Сведения об авторах

Калижанова А.У. - кандидат физико-математических наук, профессор, Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Алматы, Казахстан, e-mail: kalizhanova_aliya@mail.ru;

Утегенова А.У. - PhD, доцент, Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Алматы, Казахстан, e-mail: an.utegenova@aues.kz;

Бекешев Е.А. - Филиал республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Инфракос» в городе Алматы, Алматы, Казахстан, e-mail: chemist_e@mail.ru;

Ворогушина М.А. - НАО «Алматинский университет энергетики и связи им. Гумарбека Даукеева», Алматы, Казахстан, e-mail: m.vorogushina@aues.kz;

Рахимжанова З.М. - НАО «Алматинский университет энергетики и связи им. Гумарбека Даукеева», Алматы, Казахстан, e-mail: z.rakhimzhanova@aues.kz.

Information about the authors

Kalizhanova A.U. - Candidate of Physico-mathematical Sciences, Professor, Institute of Information and Computing Technologies of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan, e-mail: kalizhanova_aliya@mail.ru;

Utegenova A.U. - PhD, docent, Institute of Information and Computing Technologies of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan, e-mail: an.utegenova@aues.kz;

Bekeshev Y.A. - Branch office of the Republican State Enterprise on the right of economic management «Infracos» in Almaty, Almaty, Kazakhstan, e-mail: chemist_e@mail.ru;

Vorogushina M.A. - NPJSC ”Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev”, Almaty, Kazakhstan, e-mail: m.vorogushina@aues.kz;

Rakhimzhanova Z.M. - NPJSC ”Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev”, Almaty, Kazakhstan, e-mail: z.rakhimzhanova@aues.kz.

МРНТИ 20.23.25 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1082**

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ПИД-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ

[1]Г.Б. Бахадирова, [2]Н. Тасболатұлы, [2]Д.Б. Баумуратова, [1]А.С. Аканова, [3]Ә.Қ. Әлімжан

[1]Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан,
[2]Международный университет Астана, Астана, Казахстан,
[3]Astana IT University, Астана, Казахстан

Корреспондент-автор: tasbolatuly@gmail.com

В данной статье подробно рассматриваются теория ПИД-контроля, современные методы настройки регуляторов, а также подход к моделированию ПИД-регулятор для нелинейных систем в среде MATLAB/Simulink и с использованием языка программирования Python. В качестве примера представлено компьютерное моделирование ПИД-регулятор на Python для нелинейной системы, основанной на модели химического реактора с охлаждающей оболочкой. С целью проверки достоверности результатов моделирования были выполнены графические симуляции примера в средах Simulink и Python. В перспективе полученные результаты могут служить справочным материалом для более глубокого понимания характеристик ПИД-регуляторов, особенно применительно к нелинейным системам.

В статье также представлена разработка модели ПИД-регулятора для управления работой системы химического реактора. С целью анализа динамики нелинейных систем предложено прикладное программное обеспечение с графическим интерфейсом, реализующее процесс моделирования. В программе результаты моделирования - изменения концентрации, температур реактора и охлаждающей оболочки, а также расхода охлаждающей жидкости - визуализируются в виде четырёх отдельных графиков. Воздействие параметров ПИД-регулятора, введённых пользователем, демонстрируется посредством наглядной анимации. Инструмент оснащён функциями изменения параметров системы, очистки результатов и возврата к исходным данным. Проведённое в среде Python моделирование подтвердило корректность и достоверность полученных результатов. Представленная разработка может эффективно использоваться в образовательных целях для визуального освоения принципов управления.

Ключевые слова: нелинейные системы, контроллер, коэффициент усиления, замкнутый цикл, обратная связь.

СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ЖҮЙЕГЕ АРНАЛҒАН ПИД-РЕТТЕГІШІНІҢ МОДЕЛІН ЖОБАЛАУ

[1]Г.Б. Бахадирова, [2]Н. Тасболатұлы, [2]Д.Б. Баумуратова, [1]А.С. Аканова, [3]Ә.Қ. Әлімжан

[1]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан,
[2]Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан,
[3]Astana IT University, Астана, Казақстан,
e-mail: tasbolatuly@gmail.com

Бұл мақалада MATLAB/Simulink, *Python* бағдарламалау тілдерінде сызықтық емес жүйелерді басқару үшін ПИД контроллерінің моделін жобалау әдісі ПИД теориясы, ПИД-реттегіштерін баптаудың заманауи әдістері егжей-тегжейлі қарастырылады. Сонымен қатар, химиялық реактордың салқындатқыш қаптама моделіне негізделген сызықтық емес жүйе үшін Python тілінде компьютерлік модельдеу арқылы ПИД-реттегіш мысалы келтірілген. Модельдеу нәтижелерінің дұрыстығына көз жеткізу мақсатында Simulink, *Python* ортасында мысалды график түріндегі модельдеу жүзеге асырылды. Болашақта осы зерттеу нәтижелері ПИД-реттегіштердің, әсіресе сызықтық емес жүйелер үшін, сипаттамаларын түсінуге арналған анықтамалық ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Сонымен қатар мақалада химиялық реактор жүйесінің жұмысын басқаруға арналған ПИД-реттегіштері моделінің жобалануы қарастырылады. Сызықтық емес жүйелердің динамикасын зерттеу

мақсатында графикалық интерфейс арқылы модельдеуді жүзеге асыратын қолданбалы бағдарлама ұсынылған. Бағдарламада модельдеу нәтижелері - концентрацияның, реактор мен салқындатқыш қаптаманың температурасының және салқындатушы сұйықтық ағынының уақыт бойынша өзгерісі – төрт түрлі график түрінде бейнеленген. Пайдаланушы енгізген ПИД параметрлерінің әсері нақты визуализация арқылы көрсетіледі. Құралда жүйе параметрлерін өзгерту, нәтижелерді тазарту және бастапқы мәндерге қайта оралу функцияларымен жабдықталған. Жасалған модельдеу *Python* ортасында енгізілген мәндер негізінде алынған нәтижелері көрсетіліп, оның дұрыстығы мен сенімділігі тексерілген. Бұл модельдеуді басқару жүйелерін басқаруды оқытуда тиімді визуалды құрал ретінде қолдануға болады.

Түйін сөздер: сызықтық емес жүйелер, реттегіш, күшею коэффициенті, тұйық цикл, кері байланыс.

MODELING AND DESIGN OF A PID-CONTROLLER FOR NONLINEAR SYSTEMS

[1]G.B. Bakhadirova, [2]H. Tasbolatuly✉, [2]D.B. Baumuratova, [1]A.S. Akanova, [3]A. Alimzhan

[1]S. Seifullin Kazakh agrotechnical research university, Astana, Kazakhstan,
[2]Astana International University, Astana, Kazakhstan,
[3]Astana IT University, Astana, Kazakhstan,
✉e-mail: tasbolatuly@gmail.com

This paper presents a method for designing a PID-controller model for the control of nonlinear systems using MATLAB/Simulink and Python programming environments. It provides a detailed overview of PID-control theory and modern tuning techniques for PID-controllers. Additionally, a practical example is presented through computer-based simulation in Python, applied to a nonlinear system modeled on a chemical reactor' s cooling jacket. To verify the accuracy of the modeling results, graphical simulations were conducted in both Simulink and Python environments. In the future, the outcomes of this research may serve as a reference for understanding the characteristics of PID-controllers, particularly in the context of nonlinear systems.

In addition, the article presents the design of a PID-controller model for the control of a chemical reactor system. To study the dynamics of nonlinear systems, an application with a graphical user interface was developed for simulation purposes. The simulation results-including the temporal evolution of concentration, reactor and coolant jacket temperatures, and coolant flow rate—are displayed in the form of three separate graphs. The impact of user-defined PID- parameters is visualized in real-time, providing intuitive feedback. The tool includes functionalities for modifying system parameters, clearing results, and resetting to initial values. The developed simulation, implemented in the Python environment, demonstrates output consistency based on the entered values, confirming its accuracy and reliability. This model can serve as an effective visual aid for teaching control of dynamic systems.

Keywords: nonlinear systems, controller, gain, closed loop, feedback

Введение. ПИД-регулятор является одним из наиболее широко используемых элементов управления, применяемым примерно в 90% промышленных систем. ПИД-регулятор (пропорционально-интегрально-дифференцирующий) представляет собой устойчивый регулятор, основанный на механизме обратной связи в контуре управления, и является наиболее распространённым типом регуляторов в автоматизированных системах управления [1].

ПИД-регулятор является наиболее распространённым типом управления, основанным на принципе обратной связи. Впервые он был применён в регуляторах как ключевой элемент и с 1940-х годов стал стандартным инструментом в системах управления технологическими процессами. В настоящее время более 95% контуров управления в промышленных системах

реализованы на основе ПИД-регуляторов, причём значительная их часть использует ПИД-регулирование. На сегодняшний день ПИД-регуляторы находят применение практически во всех областях, где требуется управление [2]. ПИД-регуляторы широко применяются во многих сферах, включая автомобильную промышленность, управление климатом в зданиях, медицину, авиацию и бытовую электронику. Они считаются наиболее распространённым типом управления в реальных системах благодаря своей универсальности и эффективности. В частности, ПИД-регуляторы находят применение в робототехнике, промышленности и управлении технологическими процессами на химических предприятиях – например, при регулировании температуры, управления скоростью вращения двигателей, контроле положения манипулятора робота. В задачах, где важно поддержание заданного значения, например, для обеспечения полу-глобальной практической экспоненциальной устойчивости динамики робота, ПИД-регуляторы оказываются незаменимыми. Кроме того, они используются для управления беспилотными летательными аппаратами с целью стабилизации на заданной высоте, удержания ориентации и позиции в пространстве [3, 4].

В работе Li Z., Liu F., Luo Y., Chen Y. [5] предложен дискретный дробно-порядковый ПИД-регулятор для нелинейных систем. На первом этапе применяется U-модель, с помощью которой нелинейная система преобразуется в модель, приближенную к линейной, что упрощает структуру и снижает сложность модели, облегчая тем самым проектирование а. Далее разрабатывается новый закон управления в виде разностного уравнения с двумя дополнительными настраиваемыми параметрами. В заключение проводится анализ робастной устойчивости предложенного закона управления. Для демонстрации эффективности и преимуществ предложенного контроллера приводятся как детерминированные, так и стохастические примеры.

ПИД-регулятор применяется в процессорных системах управления с целью обеспечения устойчивости технологических процессов, улучшения переходных характеристик и повышения точности управления. Он позволяет точно согласовать выход системы с заданным значением, играя ключевую роль в обеспечении качества продукции и повышении эффективности производства [6]. В исследовании Kang Y. L., Shrestha G. B. [7] для повышения переходной устойчивости используется специальный алгоритм нелинейного управления. В 2005 году Su Y. X., Sun D., Duan Y. [8] предложил нелинейный регулятор, улучшающий характеристики стандартного линейного ПИД-регулятора.

Материалы и методы. Настройка регулятора - давний и важный аспект контроллеров обратной связи. С развитием ПИД-регулятора появилось много интереса к методам настройки, которые обеспечивают отличную производительность ПИД-регуляторов. ПИД-регулятор определяет сумму пропорциональных, интегральных и производных слов трех переменных следующим образом и обозначается как K_p, K_I и K_D.

Это зависит от параметров K_p, K_I и K_D и $e(t)$ ошибки между входными и выходными параметрами. Правильная установка этих переменных улучшит динамическую реакцию системы, уменьшит чрезмерную настройку, устранит ошибку постоянного состояния и повысит стабильность процесса. Это соотношение описано в уравнении (1).

$$output = K_p \times e(t) + K \times \int_0^t e(t)dt + K_D \times \frac{de}{dt} \quad (1)$$

K_p, K_I и K_D могут быть предоставлены параметрами P, I и D. K_p, K_I и K_D соответсвенно могут быть предоставлены следующим уравнением:

$$K_I = K_p \times T_i, \quad K_d = K_p \times \frac{1}{T_d} \quad (2)$$

Соответственно, время восстановления (T_i) и производное время (T_d). Отвечает за время восстановления и тип реакции производной системы. П, И и Д контроллера описываются, то есть кратко рассматриваются как:

Пропорциональный термин (*П*): пропорциональный параметр облегчает реакцию, поскольку постоянная времени замкнутого цикла уменьшается пропорциональным параметром, хотя и не меняет порядок системы, поскольку выход пропорционален входу. Пропорциональный параметр уменьшает, но не устраняет постоянную ошибку состояния или смещение. Основная задача пропорционального элемента-пропорционально изменить величину ошибки и реакцию ПИД-контроллера. Пропорциональный элемент (Р) обозначается уравнением:

$$P_{out} = K_p e, \tag{3}$$

где P_{out} - пропорциональная часть выхода контроллера, $K_p e$ - пропорциональная прибыль, e-неправильная часть.

Интегральный термин (*И*): поскольку этот параметр увеличивает характер и порядок системы на 1, он устраняет смещение. Этот параметр также увеличивает скорость реакции системы, но является оценкой постоянных колебаний. Интегральное управление стремится упростить задачи пропорционального управления. Он регулирует (умножает) ошибку с течением времени. Скорость восстановления, которая является фактором времени, используется для представления интегрального параметра управления.

$$I_{out} = \frac{1}{T_i}\int edt = K_I \int edt, \tag{4}$$

где I_{out} - интегральная часть выхода контроллера, T_i - время восстановления или интегральное время, K_I - интегральное усиление, e термин ошибки.

Дифференциальный термин (Д): этот параметр в основном снижает колебательную реакцию системы. Он не влияет на смещение и не влияет на характер и порядок системы. Он определяет скорость изменения сигнала ошибки. Сильная реакция системы на быстрые темпы изменения вызвана производной. Производная со временем корректируется. Слишком большое значение производной может привести к нестабильному управлению или проскальзыванию. Он обозначается уравнением:

$$D_{out} = T_d \frac{d}{dt} e = K_D \frac{d}{dt} e, \tag{5}$$

Термины обозначаются следующим образом: D_{out} - производная часть вывода контроллера, T_d - производное время, K_D - коэффициент усиления процесса, $e(t)$ - термин ошибки. На 2-рисунке показана стандартная конфигурация системы ПИД-регулирования [9, 10].

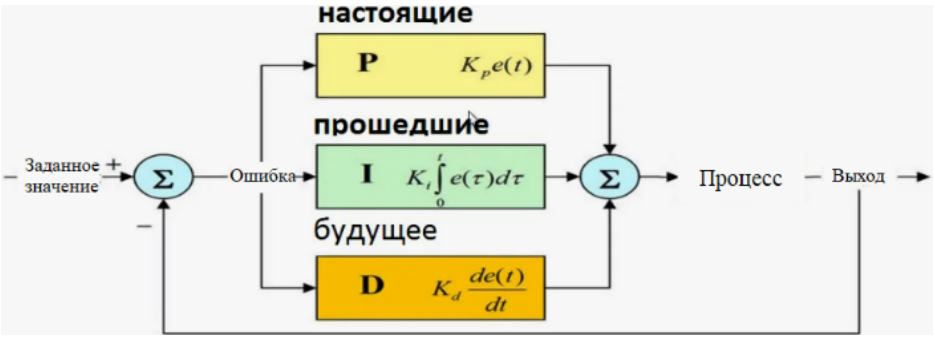


Рис.1 - Базовая структура управления PID

Когда значение $r(t)$ изменяется, неправильный термин $e(t)$ пересчитывается между заданным значением и фактическим выходом. Если сигнал ошибки $e(t)$ используется для создания, то K_p, K_I и K_D используется для расчета параметров. Действия параметров K_p, K_I и K_D, при получении сигналов измеряются и суммируются с управляющим сигналом $u(t)$, используемым в установке. В результате получается выходной $y(t)$ сигнал. Контроллер получает этот обновлен-

ный истинный сигнал, и сигнал ошибки пересчитывается. Агрегат получает вновь принятый управляющий сигнал $u(t)$. Этот процесс выполняется бесконечно, пока вы не столкнетесь с постоянной ошибкой. Когда заданное значение изменяется, член ошибки пересчитывается между заданным значением и фактическим выходом.

Общая формула ПИД - регулятор будет выглядеть следующим образом:

$$u(t) = K\left[e(t) + \frac{1}{T_i}\int_0^t e(\tau)d\tau + T_d\frac{de(t)}{dt}\right],$$

$$u(t) = Ke(t) + K_i\int_0^t e(\tau)d\tau + K_d\frac{de(t)}{dt}, \quad (6)$$

где $K_i = \frac{K}{T_i}$ - усиление (сброс) неотъемлемой части контроллера, $K_d = KT_d$ - преимущества производной части контроллера.

Обсуждение и результаты. Систему управления с обратной связью часто называют «системой управления с замкнутым контуром». С практической точки зрения, термины «управление обратной связью» и «управление замкнутым контуром» могут быть взаимозаменяемыми. Сигналы ошибок, которые работают в системе управления замкнутым контуром, то есть разница между входным сигналом и сигналом обратной связи, передаются контроллеру, чтобы уменьшить ошибку и довести вывод системы до желаемого значения. Термин «управление по замкнутому циклу» всегда означает использование эффекта управления обратной связью для уменьшения ошибок системы.

Пример 1. Моделирование пропорционально-интегрального контроллера с помощью Simulink.

Полиномиальные уравнения для этого моделирования

$$G(s) = \frac{s^2 + 12.s + 15}{s^3 + 3s^2 + 7.s + 5}$$

$H(s) = 1; K_p = 1; K_i = 0.5$; Вход = 1; Время = 4 с. Процесс ввода данных можно увидеть на рисунке:

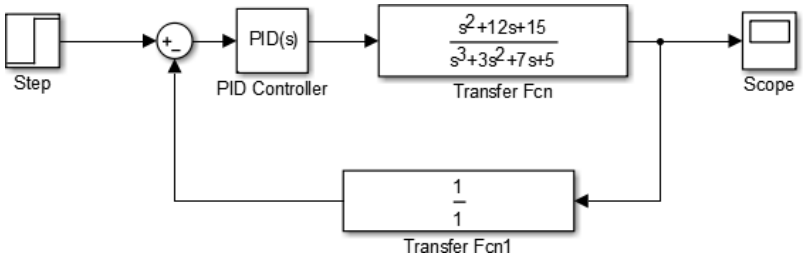


Рис.2 - Блок-схема для управления пропорционально интегральным ПИД-контроллером

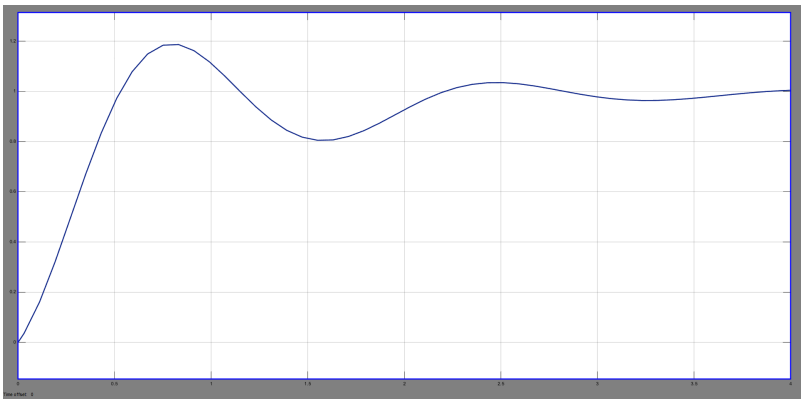


Рис.3 - $K_p = 1$ и $K_i = 0.5$ выходной ответ для значений

Вы можете видеть, что пропорциональный интегральный контроллер имеет тенденцию уменьшать время роста, добавлять время перегрузки и падения и устранять постоянное состояние.

Система, которую мы регулируем ПИД, работает намного лучше, чем система с открытым циклом. Это сравнение с системой с открытым циклом часто бывает эффективным, поскольку оно показывает случай, когда используется самая простая форма управления. Если система ПИД работает одинаково, ее использование будет неэффективным [11].

Тепловые процессы с хорошей теплоизоляцией ведут себя как интеграторы, поскольку из-за малых теплопотерь система аккумулирует энергию. Это придаёт процессу большую инерционность и медленную динамику. Поэтому для управления такими процессами необходим производный режим, а интегральный, напротив, лишь дополнительно замедляет реакцию системы.

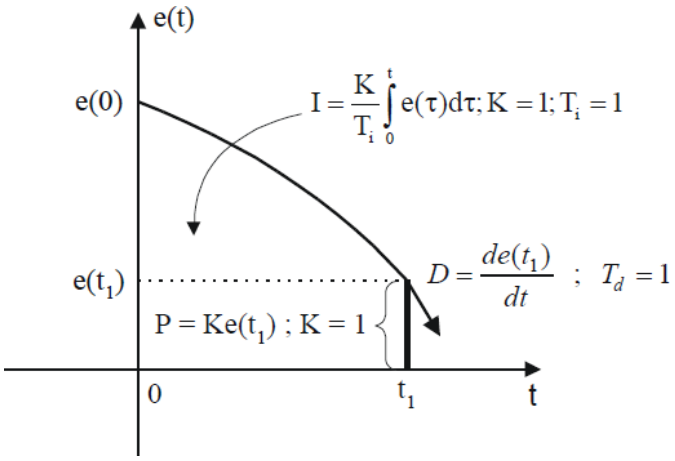


Рис.4 - Генерация управляющего сигнала ПИД-регулятора

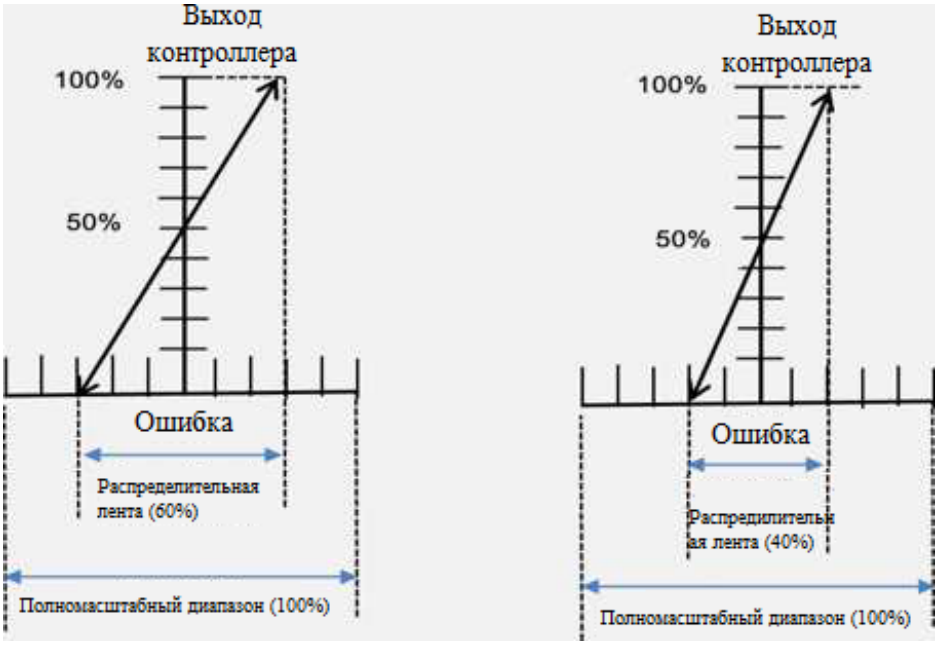


Рис.5 - P-диапазон 60% и 40%

На рисунке 5 показано, как получить выходной сигнал и сигнал управления ПИД. Также важно интерпретировать пропорциональную область, так как во многих промышленных контроллерах вместо коэффициента усиления используется именно пропорциональная область для настройки системы.

$$PB = \frac{100}{K}[\%]$$

Обычно пропорциональный диапазон устанавливается на уровне PB = 100%. Графическое представление работы контроллера P показано на рисунках 4 (a) и 4 (b), которые наглядно демонстрируют концепции для диапазонов 60% и 40%. Если у контроллера узкая полоса пропорциональности, выходной сигнал будет увеличиваться быстрее, чем в случае более широкой полосы. Это важно при настройке контроллера, особенно в процессе интеграции с регуляторами И и Д, что касается контроллеров ПИ, ПД и ПИД [12].

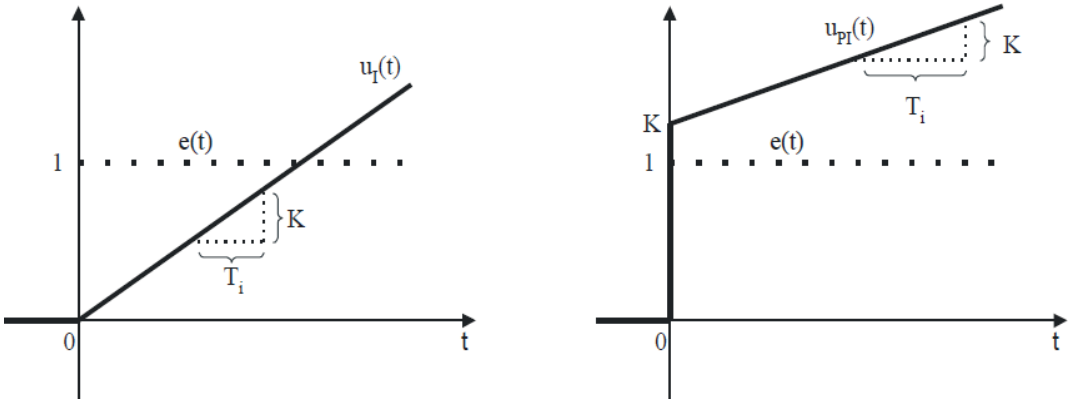


Рис.6 - Передаточная функция интегратора

Пример 2. Температура системы регулируется с помощью скорости потока воды и температуры охлаждающей воды. Уровень температуры оказывает влияние на химическую реакцию внутри охлаждающей оболочки. Химический материал является важным продуктом. Таким образом, скорость потока и температура охлаждающей воды напрямую воздействуют на качество продукции. Это, в свою очередь, означает, что ПИД-регулятор влияет на качество продукта. Далее приведена настройка охлаждающего слоя. Для демонстрации эффективной настройки ПИД-регулятора можно рассмотреть динамическое уравнение. Модель этой системы охлаждения может быть описана через баланс энергии охлаждающей воды и системы химического реактора. На рисунке 7 представлена блочная схема рубашки охлаждения, используемой для моделирования управления нелинейной системой в данной работе. Температура данной системы регулируется с помощью расхода воды и температуры охлаждающей жидкости. Температурный режим оказывает влияние на химическую реакцию, происходящую внутри упаковки. Химическое вещество, в свою очередь, является важным конечным продуктом. Следовательно, расход и температура охлаждающей воды напрямую влияют на качество продукции. Таким образом, настройка ПИД-регулятора оказывает влияние на качество производственного процесса. Параметры охлаждающей рубашки приведены ниже. Для эффективного объяснения процесса настройки ПИД-регулятора преподавателю следует использовать динамическое уравнение. Это уравнение должно быть представлено в упрощённой форме, так как основное внимание в статье уделяется именно настройке ПИД-регулятора. Модель системы охлаждающей упаковки может быть выражена с помощью энергетического баланса между охлаждающей водой и химическим реактором. Таким образом, уравнения энергетического баланса представлены в

формулах (2) и (3).

На рисунке 7 представлена блочная схема охлаждающей упаковки, использованной в данной работе для моделирования управления нелинейной системой.

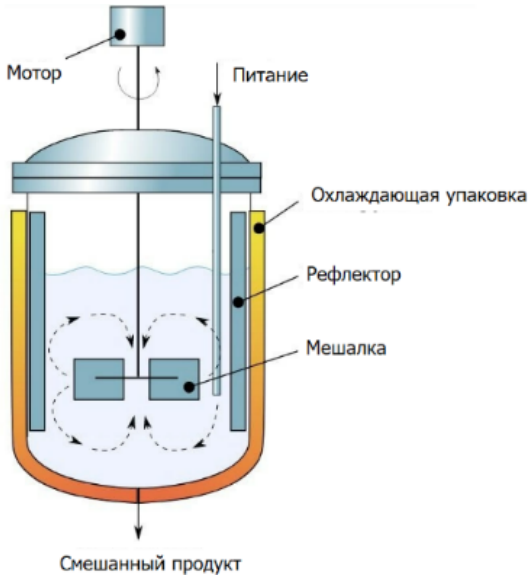


Рис.7 - Нелинейная система охлаждающей упаковки

Уравнение энергетического баланса может быть представлено с помощью уравнений (7) и (8).

$$\frac{dc_a}{dt} = q(c_{ai} - c_a) - Vkc_a, \quad (7)$$

$$V\rho c_p \frac{dT}{dt} = \omega c_p(T_i - T) + (-\sigma H_r V k c_a + UA(T_c - T)) \quad (8)$$

Затем эта система должна быть нормализована для проектирования контроллера проектирования.

$$\frac{dc_a}{dt} = q(c_{ai} - c_a) - kc_a \quad (9)$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{q}{V}(T_i - T) + \frac{-\delta H_r}{\rho c_p} kc_a + \frac{UA}{V\rho c_p}(T_c - T) \quad (10)$$

Эта охлаждающая упаковка контролирует химическую реакцию через температуру охлаждающей воды в упаковке. Поэтому результаты реакции зависят от скорости и температуры охлаждающей воды. На рисунке 8 показан график начального состояния упаковки [12].

Таблица 1 – Проектные параметры охлаждающей упаковки

№	Описание	Обозначение	Значения	Единица измерения
1	Энергия активации	E_a	72,750	Дж/моль
2	Предэкспоненциальный множитель Аррениуса	$k0$	7.2×10^{10}	1/мин
3	Газовая постоянная	R	8.314	Дж/моль/К
4	Объём реактора	V	100	литр
5	Плотность	ρ	1000	г/литр

6	Теплоёмкость	*Cp*	0.239	Дж/г/К
7	Энтальпия реакции		-50,000	Дж/моль
8	Коэффициент теплообмена	*UA*	50,000	Дж/мин/К
9	Расход питающего потока	*q*	100	литр/мин
10	Концентрация реагента на входе	*Ca*	1	моль/литр
11	Температура на входе	*Tf*	350	К
12	Начальная концентрация реагента	*cA,0*	0.5	моль/литр

В языке Python для различных задач требуются специализированные программные пакеты, что отражает модульную принцип проектирования, характерную для программного обеспечения с открытым исходным кодом. Такой подход позволяет пользователям разрабатывать и распространять пакеты Python, адаптированные под конкретные потребности. В результате доступен обширный набор Python-библиотек, охватывающий широкий спектр областей - от научных вычислений до компьютерного моделирования, от интеллектуального анализа данных до систем искусственного интеллекта. Пользователи могут искать, загружать и устанавливать данные программные компоненты в соответствии со своими требованиями.

Библиотека Python-Control особенно эффективна для анализа и проектирования систем автоматического управления с обратной связью. С использованием данной библиотеки численные расчёты автоматических систем управления могут выполняться в сочетании с такими инструментами, как *NumPy, SciPy и Matplotlib*. По своей структуре и командам Python-Control во многом аналогична средствам, представленным в инструментарии MATLAB [13].

Эта охлаждающая рубашка предназначена для контроля химической реакции посредством температуры охлаждающей воды. Поэтому результаты реакции результаты реакции зависят от скорости и температуры охлаждающей воды температуры. На рисунке 8 показан код Python и график для начального состояния рубашки.

ПИД-регулирование нелинейной системы охлаждающей упаковки в Python На рисунке 8 а), б), в) показаны концентрация, температура и расход концентрацию, температуру и расход с помощью P, I, D ПИД-регулятора.

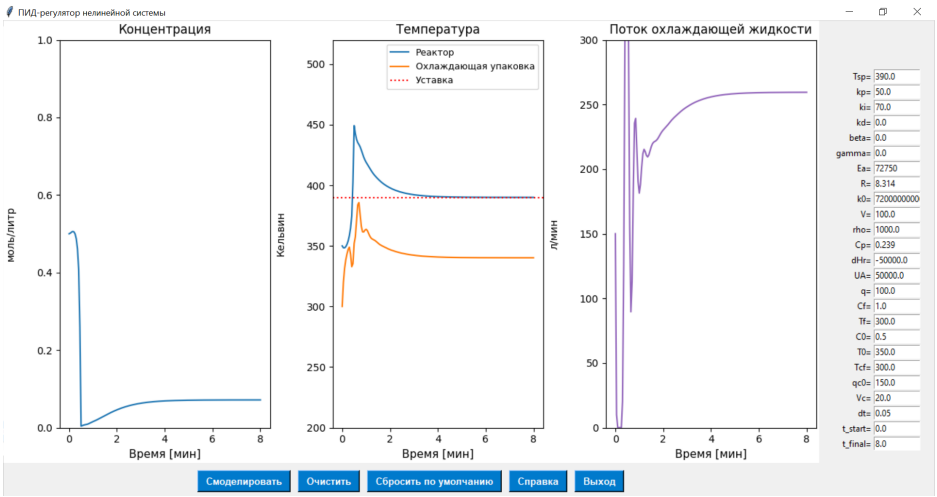


Рис.8 - а) График отклика системы при настройках ПИД-регулятора K = 50, I = 70, D = 0

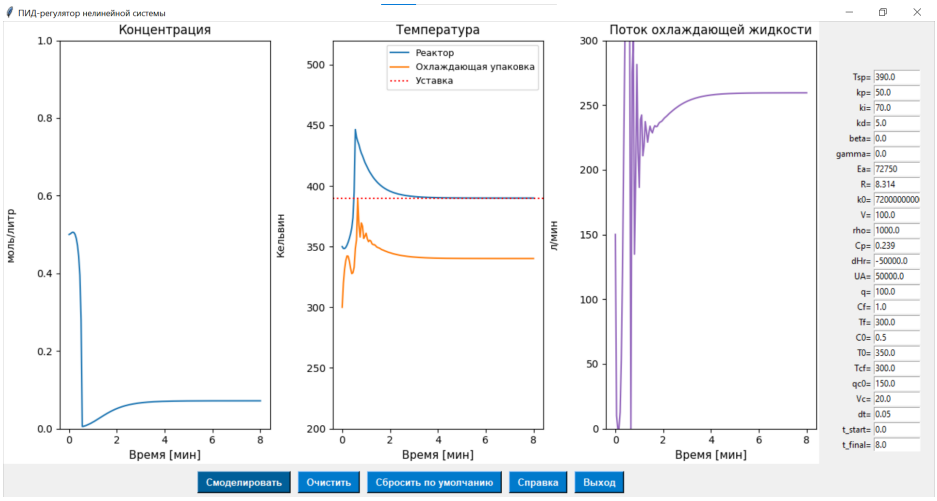


Рис.8 - б) График отклика системы при настройках ПИД-регулятора K = 50, I = 70, D = 5

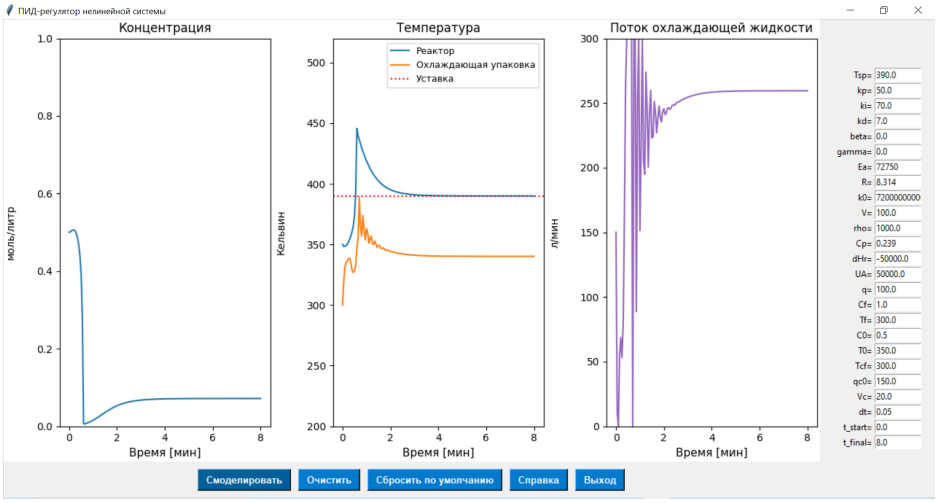


Рис.8 - в) График отклика системы при настройках ПИД-регулятора K = 50, I = 70, D = 7

Из этих рисунков видно, что влияние D-функции больше, чем у других. Это означает, что D-функция увеличивается резко возрастает в процессе шума.

На основе приведённых выше изображений можно заметить, что влияние D-функции является более значительным по сравнению с другими параметрами. Это указывает на то, что D-функция резко увеличивается при наличии шумового процесса или играет важную роль в управлении внезапными изменениями с целью подавления шума.

Выводы. В данной статье исследованы методы настройки ПИД-регулятора и его эффективность в управлении нелинейными системами. ПИД-регулятор обеспечивает точное следование системы заданному значению во времени, сокращает время установления, устраняет установившуюся ошибку и улучшает переходный процесс.

Результаты моделирования в среде Simulink показали, что при правильном выборе пропорционального (P), интегрального (I) и дифференциального (D) параметров ПИД-регулятора можно повысить устойчивость и точность выходного сигнала системы. Особенно чётко проявилось влияние D-параметра на снижение колебательности системы.

Доказано, что язык программирования Python и его библиотеки предоставляют удобную среду для моделирования систем управления, аналогичную MATLAB. Результаты моделирования с использованием ПИД-регулятора, выполненного на Python, оказались сопоставимыми с результатами, полученными в среде Simulink. Кроме того, разработка системы управления с графическим интерфейсом на базе Python является удобной и эффективной для пользователя. В заключение следует отметить, что моделирование ПИД-регулятора в средах MATLAB и Python позволяет точно оценить динамику системы. Язык Python, как инструмент с открытым исходным кодом и высокой гибкостью, предоставляет широкие возможности для исследования и применения ПИД-регуляторов в инженерных и научных целях.

Литература

1. Joseph S. B. et al. Metaheuristic algorithms for PID controller parameters tuning: Review, approaches and open problems//Heliyon.-2022. -Vol.8(5): e09399. DOI 10.1016/j.heliyon.2022.e09399.

2. Åström K. J., Hägglund T. Advanced PID Control//ISA - The Instrumentation, Systems and Automation Society. -2006. - 460 p. ISBN: 978-1-55617-942-6.

3. Vinagre B. M., Monje C. A., Calderón A. J., Suárez J. I. Fractional PID controllers for industry application. A brief introduction // Journal of Vibration and Control. -2007. -Vol.13 (9–10). -P.1419 -1429. DOI 10.1177/1077546307077498.

4. Pan Y., Li X., Yu H. Efficient PID tracking control of robotic manipulators driven by compliant actuators //IEEE Transactions on Control Systems Technology. -2019. -Vol.27(2). -P.915–922. DOI 10.1109/TCST.2017.2783339.

5. Li Z., Liu F., Luo Y., Chen Y. Discrete fractional order PID controller design for nonlinear systems //International Journal of Systems Science. -2021. -Vol.52(15). -P.3206–3213. DOI 10.1080/00207721.2021.1924307.

6. Dubey V., Goud H., Sharma P. C. Role of PID control techniques in process control system: a review //Data Engineering for Smart Systems: Proceedings of SSIC 2021. -2022. -P.659–670. DOI 10.1007/978-981-16-2641-8_62.

7. Kang Y. L., Shrestha G. B., Lie T. T. Application of an NLPID controller on a UPFC to improve transient stability of a power system //IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution. -2001. -Vol.148 (6). -P.523-529. DOI 10.1049/ip-gtd:20010526.

8. Su Y. X., Sun D., Duan Y. Design of an enhanced nonlinear PID controller // Mechatronics. -2005. -Vol.15 (8). -P.1005-1024. DOI 10.1016/j.mechatronics.2005.03.003.

9. Sundström E. et al. Reference Implementation of the PID Controller //IFAC-PapersOnLine. -2024. -Vol.58(7). -P.370-375. DOI 10.1016/j.ifacol.2024.08.090.

10. Kim D. H. Advanced Lecture for PID Controller of Non-linear systems in Python //International Journal of Recent Engineering and Technology. -2021. -Vol.9 (6). -P.20-29. DOI 10.35940/ijrte.F5375.039621.

11. Senen A., Ratnasari T., Simamora Y. PID controller simulator design for polynomials transfer function// E3S Web of Conferences. -2020. -Vol. 202: 15006. DOI 10.1051/e3sconf/202020215006.

12. Kim D.H., Alemayehu H. A study on teaching method of control engineering by using Python based PID // International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology. -2020. -Vol.7(9). -P. 1-9. DOI 10.17148/IARJSET.2020.7901.

13. Chongquan G. The application of state feedback principle in turbine adjustment system with Python

control library //Journal of Physics: Conference Series. -2024. - Vol.2782: 012072. DOI 10.1088/1742-6596/2782/1/012072.

Сведения об авторах

Бахадирова Г.Б - PhD студент, Международный университет Астана, Астана, Казахстан, e-mail: gulnaz.bahadirova.84@mail.ru;

Тасболатұлы Н.- PhD, ассоциированный профессор, Международный университет Астана, Астана, Казахстан, e-mail: tasbolatuly@gmail.com;

Баумуратова Д.Б - PhD, Международный университет Астана, Астана, Казахстан, e-mail: Baumuratova.d@gmail.com;

Аканова А.С. - PhD, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, e-mail: akerkegansaj@mail.ru;

Әлімжан Ә.Қ. - Магистр, Astana IT University, Астана, Казахстан, e-mail: Assel.Alimzhan@astanait.edu.kz.

Information about the authors

Bakhadirova G.B.-PhD student, Astana International 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;

Akanova A.S. - PhD, S. Seifullin Kazakh agrotechnical research university, Astana, Kazakhstan, e-mail: akerkegansaj@mail.ru;

Alimzhan A. - MSc in Computer Science and Engineering, Astana IT University, Astana, Kazakhstan, mail: Assel.Alimzhan@astanait.edu.kz.

МРНТИ 55.30.31 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1322**

УСТОЙЧИВОСТЬ ДИНАМИКИ БЕСПИЛОТНОГО НАДВОДНОГО СУДНА

[1]И.С. Тажибай, [1,2]Т.Ж. Мазаков, [2]Ш.А. Джомартова, [2]Ә.Т. Мазакова, [3]А.Д. Майлыбаева, [1]М.С. Алиаскар, [4]Б.М. Мазакова

[1]Международный инженерно-технологический университет, Алматы, Казахстан,
[2]Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
[3]Атырауский университет им. Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан,
[4]Международный университет, Астана, Казахстан

Корреспондент-автор: m.alyasqar@gmail.ru

Современное развитие автономных морских робототехнических систем обусловлено глобальными задачами в области экологии, охраны акваторий, морской безопасности, навигации и ресурсного мониторинга. БНС активно внедряются в такие сферы, как картографирование, мониторинг загрязнений, контроль территориальных вод, научные исследования, обслуживание морской инфраструктуры и поиск-спасение.

При проектировании автономных судов критически важным является наличие адекватной математической модели, обеспечивающей предсказуемость поведения платформы. Без такой модели невозможно гарантировать безопасную эксплуатацию, корректную стабилизацию курса и эффективную адаптацию к морским возмущениям.

Таким образом, развитие методов моделирования динамики БНС представляет собой актуальную научно-техническую задачу.

В работе рассматривается устойчивость динамики беспилотного надводного судна. Показана как на основе линеаризации возможен вывод моделей Номота первого и второго порядка.

Для линеаризованной системы сформулирован критерий интервальной устойчивости, который учитывает неточность задания параметров беспилотного надводного аппарата.

Ключевые слова: беспилотное надводное судно (БНС), кинематика, линеаризация, математическая модель, модель Номото, управление, устойчивость.

ПІСІРІМСІЗ БЕТКІ КЕМЕНІҢ ДИНАМИКАСЫНЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ

[1]И.С. Тәжібай, [1,2]Т.Ж. Мазаков, [2]Ш.А. Джомартова, [2]Ә.Т. Мазақова, [3]А.Д. Майлыбаева, [1]М.С. Әлиасқар, [4]Б.М. Мазакова

[1]Халықаралық инженерлік-технологиялық университет, Алматы, Қазақстан,
[2]Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан,
[3]Kh. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан,
[3]Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail: m.alyasqar@gmail.ru

Автономды теңіз роботтық жүйелерінің қазіргі дамуы экология, суды қорғау, теңіз қауіпсіздігі, навигация және ресурстарды бақылау саласындағы жаһандық қиындықтармен байланысты. Ұшқышсыз ұшу аппараттары картаға түсіру, ластануды бақылау, аумақтық суды бақылау, ғылыми зерттеулер, теңіз инфрақұрылымын күтіп ұстау және іздеу-құтқару сияқты салаларда белсенді түрде енгізілуде.

Автономды кемелерді жобалау кезінде платформаның мінез-құлқының болжамдылығын қамтамасыз ететін тиісті математикалық модельдің болуы өте маңызды. Мұндай модельсіз қауіпсіз жұмысты, бағытты дұрыс тұрақтандыруды және теңіздегі толқуларға тиімді бейімделуді қамтамасыз ету мүмкін емес.

Сондықтан, Ұшқышсыз ұшу аппараттарының динамикасын модельдеу әдістерін әзірлеу өзекті ғылыми және техникалық міндет болып табылады.

Бұл мақалада ұшқышсыз жер үсті кемесінің динамикалық тұрақтылығы қарастырылады. Онда бірінші және екінші ретті Nomota модельдерін сызықтықтандыруды қолдану арқылы қалай алуға болатыны көрсетілген.

Сызықтық жүйе үшін ұшқышсыз жер үсті көлігінің параметрлеріндегі белгісіздікті ескеретін аралық тұрақтылық критерийі тұжырымдалған.

Түйін сөздер: ұшқышсыз су үсті кемесі (ҰСК), кинематика, сызықтық өңдеу, математикалық модель, Номото моделі, басқару, тұрақтылық.

STABILITY OF THE DYNAMICS OF AN UNMANNED SURFACE VESSEL

[1]I. Tazhibay, [1,2]T. Mazakov, [2]Sh. Dzhomartova, [2]A. Mazakova, [3]A. Mailybaeva, [1]M. Aliaskar✉, [4]B. Mazakova

[1]International Engineering Technological University, Almaty, Kazakhstan,
[2]al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
[3]Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan,
[4]Astana International University, Astana, Kazakhstan,
e-mail: m.alyasqar@gmail.ru

The current development of autonomous marine robotic systems is driven by global challenges in ecology, water protection, maritime security, navigation, and resource monitoring. UAVs are actively being implemented in areas such as mapping, pollution monitoring, territorial water control, scientific research, marine infrastructure maintenance, and search and rescue.

When designing autonomous vessels, the availability of an adequate mathematical model that ensures the predictability of the platform' s behavior is critical. Without such a model, it is impossible to guarantee safe operation, correct course stabilization, and effective adaptation to sea disturbances.

Therefore, the development of methods for modeling UAV dynamics is a pressing scientific and technical challenge.

This paper examines the dynamic stability of an unmanned surface vessel. It demonstrates how first- and second-order Nomota models can be derived using linearization.

For a linearized system, an interval stability criterion is formulated that takes into account the uncertainty in the parameters of the unmanned surface vehicle.

Keywords: unmanned surface vessel (USV), kinematics, linearization, mathematical model, Nomoto model, control, stability.

Введение. Математическое моделирование движения судов является классической задачей морской гидродинамики, однако переход к беспилотным платформам предъявляет новые требования. Автономные системы требуют алгоритмов реального времени, что делает необходимым использование упрощённых, но достаточно точных моделей [1].

Полная нелинейная модель движения судна в координатах является точной, но сложной для непосредственного применения в системах управления. Поэтому в инженерной практике широко применяют упрощенные линейные модели, Модель Номото позволяет эффективно проектировать регуляторы курса. Одной из центральных научно-технических проблем при проектировании подобных систем остаётся разработка адекватной математической модели динамики движения, обеспечивающей корректный синтез алгоритмов управления, оценку устойчивости курса, оптимизацию траекторий и адаптацию к внешним возмущениям (ветер, волны, течение). Без строгого динамического описания

невозможно обеспечить высокую точность позиционирования, надёжность автономной навигации и безопасность работы в сложных условиях акватории [2-3].

Целью данной статьи является разработка, анализ и упрощение математической модели динамики беспилотного надводного судна, а также вывод линейной курсовой модели, пригодной для задач стабилизации и автономной навигации.

Материалы и методы. В статье рассматривается математическая модель динамики беспилотного надводного судна, которая описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений.

Введем следующие обозначения:

$$x = \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \\ \psi \\ u \\ \upsilon \\ r \end{pmatrix}, \quad u_c = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ N \end{pmatrix}, \quad \eta = \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \\ \psi \end{pmatrix}, \quad \nu = \begin{pmatrix} u \\ \upsilon \\ r \end{pmatrix}, \tag{1}$$

где

x_c, y_c. - координаты центра судна в инерциальной системе,

ψ- курсовое направление,

u, υ- продольная и поперечная скорость судна,

r- угловая скорость рыскания,

X - суммарная продольная управляющая сила (тяга винтов, водомётов и т.п.),

Y - суммарная поперечная управляющая сила (при наличии боковых движителей),

N - управляющий момент по курсу [4, 5].

Кинематическая связь между введенными выше параметрами удовлетворяет следующей системе обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\frac{d\eta}{\mathrm{dt}} = J(\psi)\eta, \tag{2}$$

где

$$J(\psi) = \begin{bmatrix} \cos(\psi) & -\sin(\psi) & 0 \\ \sin(\psi) & \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Динамическая связь удовлетворяет следующей системе обыкновенных дифференциальных уравнений

$$M\frac{d\nu}{\mathrm{dt}} + C(\nu)\nu + D(\nu)\nu = u_c$$

или

$$\frac{d\nu}{\mathrm{dt}} = M^{-1}\left(u_c - C(\nu)\nu - D(\nu)\nu\right), \tag{3}$$

где M - 3*3- матрица, учитывающая массовые характеристики судна,

$C(\nu)$- 3*3- матрица, учитывающая влияние кориолисовых и центробежных сил,

$D(\nu)$- 3*3- матрица, учитывающая влияние демпфирующих сил.

Перепишем систему уравнений (2)-(3) в виде следующей системы нелинейных дифференциальных уравнений

$$\frac{\mathrm{dx}}{\mathrm{dt}} = f(x, u_c) \tag{4}$$

Обсуждение и результаты. ***Критерий интервальной устойчивости.*** Для решения поставленной задачи введем следующие обозначения:

$$n = 6, \quad m = 3, \quad x = (x_1, \ldots, x_n), \quad x_0 = (x_1(0), \ldots, x_n(0)), \quad c = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \tag{5}$$

Здесь $x, .x_0$ - n-мерные векторы, с - 2*n-матрица.

Тогда добавим к системе уравнений (4) начальные условия

$$x(0) = x_0 \quad (6)$$

и конечные условия в момент времени T

$$cx(T) = z \quad (7)$$

Линеаризуем правую часть системы уравнений (5) при следующих допущениях: 1) судно идёт прямолинейно с постоянной продольной скоростью $U_0 > 0$, 2) малые отклонения курса и руля [6].

Теперь исходная система (5) описывается линейными дифференциальными уравнениями

$$\frac{\mathrm{dx}}{\mathrm{dt}} = \mathrm{Ax} + \mathrm{Bu}_c \quad (8)$$

где A - n*n-матрица, B n*m-матрица.

Рассмотрим далее частные случаи системы (8).

1. Модель Номото 1-го порядка

Обозначим через

$$x = \begin{pmatrix} \psi \\ r \end{pmatrix}, u_c = \delta$$

$T > 0$ - эффективную постояннуя времени курсовой динамики, K_δ - усиление по рулю, δ-управляющий сигнал (угол поворота руля).

Тогда из линейной связи «руль $\delta \rightarrow$ угловая скорость по курсу r»:

$T\frac{\mathrm{dr}}{\mathrm{dt}} + r = K_\delta\delta$ и соотношения $\frac{d\psi}{\mathrm{dt}} = r$, получим модель Номота первого порядка в виде (8):

$$\frac{\mathrm{dx}}{\mathrm{dt}} = \begin{pmatrix} \frac{d\psi}{\mathrm{dt}} \\ \frac{\mathrm{dr}}{\mathrm{dt}} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -\frac{1}{T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi \\ r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{K_\delta}{T} \end{bmatrix} \delta \quad (9)$$

2. ***Модель Номото 2-го порядка***

Для учета влияния поперечного движения и сложной гидродинамики часто используют модель Номота 2-го порядка, которая выводится из следующих уравнений:

$$T_1T_2\frac{d^2r}{\mathrm{dr}^2} + (T_1 + T_2)\frac{\mathrm{dr}}{\mathrm{dt}} + r = K_\delta\delta, \frac{d\psi}{\mathrm{dt}} = r \quad (10)$$

где $T_1, T_2 > 0$ - постоянные времени быстрого и медленного режимов.

Обозначим через

$$x = \begin{pmatrix} \psi \\ r \\ p \end{pmatrix}, p = \frac{\mathrm{dr}}{\mathrm{dt}} u_c = \delta$$

Тогда из (10) получим модель Номота второго порядка:

$$\frac{\mathrm{dx}}{\mathrm{dt}} = \begin{pmatrix} d\psi \\ \mathrm{dr} \\ \mathrm{dp} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{1}{T_1T} & -\frac{T_1+T}{T_1T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi \\ r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{K_\delta}{T_1T} \end{bmatrix} \delta \quad (11)$$

Примечание. В моделях Номота (9) и (11) параметры T, T_1, T_2, K_δ выражаются через коэффициенты матриц M, C, D системы уравнений (3).

Далее исследуется проблема устойчивости линеаризованной модели вида /8/:

$$\dot{x} = Ax \quad (12)$$

где через коэффициенты матрицы A заданы параметры, характеризующие механические параметры (такие как вес, метрические характеристики, инерционность и т.п.). При этом предполагается, что матрица A является интервальной, т.е. элементы ее представляют собой интервальные числа.

Для системы (12) в случае, когда элементы матрицы A являются «точечными» числами разработаны критерии устойчивости, выражающи-

еся через элементы матрицы A – критерий Рауса-Гурвица и др. [7]. Однако, при этом не учитываются то обстоятельство, что указанные физические параметры измеряются с некоторой погрешностью. Исследователи часто, делая вывод об устойчивости системы (12), забывают, что коэффициенты и корни характеристического полинома могут быть очень чувствительны к малым погрешностям матричных элементов.

Интервальный анализ дает возможность автоматически учитывать погрешности в задании исходных данных и погрешности, вызываемые машинным округлением.

Использование интервального анализа при решении задачи устойчивости динамики механических систем позволяет получить критерий гарантированной устойчивости.

Для определения устойчивости интервальной матрицы строится характеристический полином с интервальными коэффициентами:

$$\phi_A(\lambda) = \det(\lambda E - A) = p_n\lambda^n + p_{n-1}\lambda^{n-1} + \ldots + p_0 \qquad (13)$$

где $p_i, i = \overline{0,n}$ - интервальные числа.

Определение. Интервальный характеристический полином (13) называется устойчивым, если интервал, составленный из вещественных частей интервальных собственных значений, не содержит 0 и находится полностью в отрицательной области.

Необходимое условие устойчивости: все коэффициенты характеристического полинома (13) должны находиться в положительной области и не содержать 0: т.е. для

$$p_i = [\overline{p_i} - \varepsilon_i^p, \overline{p_i} - \varepsilon_i^p], i = \overline{0,n}$$

должно выполняться

$$0 \notin p_i, \overline{p_i} - \varepsilon_i^p > 0, i = \overline{0,n} \quad [8].$$

Составим матрицу Гурвица

$$M = \begin{bmatrix} p_1 & p_0 & 0 & 0 & ... & 0 \\ p_3 & p_2 & p_1 & p_0 & ... & 0 \\ ... & ... & ... & ... & ... & ... \\ p_{2n-1} & p_{2n-2} & p_{2n-3} & p_{2n-4} & ... & p_n \end{bmatrix}$$

где принято $p_j = 0$ при $j < 0$ и $j > n$.

Обозначим через $\Delta_1, \Delta_2, ..., \Delta_n$главные диагональные миноры матрицы M:

$$\Delta_1 = p_1,$$
$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} p_1 & p_0 \\ p_3 & p_2 \end{vmatrix},$$
$$.....$$
$$\Delta_n = |M| = p_n\Delta_{n-1},$$

которые в свою очередь являются интервальными числами.

Критерий интервальной устойчивости Гурвица: для того чтобы $\mathrm{Re}\lambda_j(A) < 0, j = \overline{1,n}$ необходимо и достаточно, чтобы главные диагональные миноры $\Delta_1, \Delta_2, ..., \Delta_n$ матрицы M находились в правой полуплоскости, т.е. $\Delta_j \in (0, \infty), j = \overline{1,n}$.

Критерий интервальной устойчивости Льенара-Шипара: Если все интервальные коэффициенты $p_0, p_1, ..., p_n$ характеристического полинома (13) находятся в положительной области, т.е. $0 \notin p_i, \overline{p_i} - \varepsilon_i^p > 0, i = \overline{0,n}$тогда для того чтобы $\mathrm{Re}\lambda_j(A) < 0, j = \overline{1,n}$необходимо и достаточно, чтобы для главных диагональных миноров $\Delta_1, \Delta_2, ..., \Delta_n$ матрицы M выполнялись условия

$\Delta_3 \in (0, \infty), \Delta_5 \in (0, \infty), \Delta_7 \in (0, \infty), ...$

или

$\Delta_2 \in (0, \infty), \Delta_4 \in (0, \infty), \Delta_6 \in (0, \infty), ...$

Для характеристического уравнения

$$a_0\lambda^n + a_1\lambda^{n-1} + ... + a_n = 0$$

составим таблицу Рауса (матрица размерно-

сти $(n+1)*m$, где $m=[n/2]+2)$

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} = a_0 & c_{12} = a_2 & \dots \\ c_{21+} = a_1 & c_{22} = a_3 & \dots \\ c_{31} & c_{32} & \dots \\ c_{41} & c_{42} & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

в первую строку записываются коэффициенты исходного характеристического уравнения с четными индексами, во вторую – с нечетными. Элементы остальных строк рекуррентно вычисляются по формуле

$$c_{1k} = \begin{cases} a_{2(k-1)} & \text{если} \quad 2(k-1) \le n \\ 0 & \text{если} \quad 2(k-1) > n \end{cases};$$

$$c_{2k} = \begin{cases} a_{2k-1} & \text{если} \quad 2k-1 \le n \\ 0 & \text{если} \quad 2k-1 > n \end{cases};$$

$$c_{\text{ik}} = c_{i-2,k+1} - d_i c_{i-1,k+1};$$

$$d_i = c\frac{}{c_{i-1,1}}; i = \overline{3, n+1}; k = \overline{1, m}.$$

Критерий интервальной устойчивости Рауса: для устойчивости системы необходимо и достаточно, чтобы коэффициенты первого столбца матрицы С находились в правой полуплоскости, т.е.

$$c_{1j} \in (0, \infty), j = \overline{1, n+1}$$

Для автоматизированного построения интервального характеристического полинома реализованы алгоритмы Крылова, Леверье, Леверье-Данилевского, основанные как на классической, так и введенной интервальной математике.

Вышеперечисленные критерии интервальной устойчивости также реализованы в разработанном пакете интервальных вычислений [9].

Выводы. В работе рассмотрены теоретические основы математического моделирования динамики беспилотного надводного судна и выполнен вывод упрощённой курсовой модели, основанной на предположении о постоянной продольной скорости. Представление модели в линейной форме позволяет применять современные методы анализа устойчивости, оптимизации траекторий и синтеза алгоритмов управления.

Упрощённая модель Номото 1-го и 2-го порядка является эффективным инструментом для проектирования систем курсовой стабилизации, а также служит основой для разработки более сложных регуляторов.

Для линейной системы общего вида получен критерий интервальной устойчивости, допускающий небольшие погрешности измерений параметров беспилотного надводного аппарата.

Полученный критерий устойчивости может быть использован в системах автоматического управления БНС, моделировании морских сценарием, кооперативном движении флотилий и разработке цифровых двойников беспилотных платформ.

Полученные результаты создают основу для последующей инженерной реализации автономных надводных платформ и их применения в задачах мониторинга, навигации, патрулирования и экологического контроля.

Литература

1. Маслюк Е.В., Меркулов А.А. Беспилотные морские дроны. - Калининград: КГТУ, 2018. - 200 с. ISBN 978-5-94826-501-8.

2. Донцов С.В. Основы теории судна. - Одесса: Феникс, 2007. -142 с. ISBN: 966-8631-93-5.

3. Жинкин В.Б. Теория и устройство корабля. - СПб.: Судостроение, 2002. -336 с. ISBN 5 -7355-0629-3.

4. Лебедева М.П., Лебедев А.О. Управляемость и моделирования движения водоизмещающего судна. - Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. - 200 с. ISBN: 978-5-9729-1478-4.

5. 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), 137801M (11 August 2025). DOI 10.1117/12.3072475.

6. Mazakova A.,Jomartova Sh.,Wójcik W., Mazakov T., Ziyatbekova G. Automated Linearization of a System of Nonlinear Ordinary Differential Equations // International Journal of Electronics and Telecommunications. - 2023.-Vol.69(4).-P.655-660. DOI 10.24425/ijet.2023.147684

7. Mazakov T.Zh., Wójcik W., Jomartova Sh., Karymsakova N., Ziyatbekova G., Tursynbai A. The Stability Interval of the Set of Linear System // International Journal of Electronics and Telecommunications. -2021. - Vol.67(2).- P.155-161. Manuscript received August 17, 2020; revised April, 2021, DOI 10.24425/ijet.2021.13595.

8. Мазакова А.Т., Джомартова Ш.А., Мазаков Т.Ж., Зиятбекова Г.З., Досаналиева А.Т. Автоматизация процесса линеаризации нелинейной модели, описываемой обыкновенными дифференциальными уравнениями // Вестник КазУТБ.-2023. -№1(18).- С.7-23. DOI 10.58805/kazutb.v.1.18-69.

9. А.с. №7576, 2020, 17 января. Мазаков Т.Ж., Зиятбекова Г.З., Мазакова А.Т., Джомартова ША Карымсакова НТ, Амирханов Б.С Жолмагамбетова БР. Библиотека интервальных функций. Программа для ЭВМ.

References

1. Masljuk E.V., Merkulov A.A. Bespilotnye morskie drony. - Kaliningrad: KGTU, 2018. - 200 s. ISBN 978-5-94826-501-8.[in Russian]

2. Doncov S.V. Osnovy teorii sudna. - Odessa: Feniks, 2007. -142 s. ISBN: 966-8631-93-5. [in Russian]

3. Zhinkin V.B. Teorija i ustrojstvo korablja. - SPb.: Sudostroenie, 2002. -336 s. ISBN 5 -7355-0629-3. [in Russian]

4. Lebedeva M.P., Lebedev A.O. Upravljaemost’ i modelirovanija dvizhenija vodoizmeshhajushhego sudna. - Moskva, Vologda: Infra-Inzhenerija, 2023. - 200 s. ISBN: 978-5-9729-1478-4. [in Russian]

5. 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), 137801M (11 August 2025). DOI 10.1117/12.3072475.

6. Mazakova A.,Jomartova Sh.,Wójcik W., Mazakov T., Ziyatbekova G. Automated Linearization of a System of Nonlinear Ordinary Differential Equations // International Journal of Electronics and Telecommunications. - 2023.-Vol.69(4).-P.655-660. DOI 10.24425/ijet.2023.147684

7. Mazakov T.Zh., Wójcik W., Jomartova Sh., Karymsakova N., Ziyatbekova G., Tursynbai A. The Stability Interval of the Set of Linear System // International Journal of Electronics and Telecommunications. -2021. - Vol.67(2).- P.155-161. Manuscript received August 17, 2020; revised April, 2021, DOI 10.24425/ijet.2021.13595.

8. Mazakova A.T., Dzhomartova Sh.A., Mazakov T.Zh., Zijatbekova G.Z., Dosanalieva A.T. Avtomatizacija processa linearizacii nelinejnoj modeli, opisyvaemoj obyknovennymi differencial’ nymi uravnenijami // Vestnik KazUTB.-2023. -№1(18).- C.7-23. DOI 10.58805/kazutb.v.1.18-69. [in Russian]

9. A.s. №7576, 2020, 17 janvarja. Mazakov T.Zh., Zijatbekova G.Z., Mazakova A.T., Dzhomartova ShA Karymsakova NT, Amirhanov B.S Zholmagambetova BR. Biblioteka interval’ nyh funkcij. Programma dlja JeVM. [in Russian]

Сведения об авторах

Тажибай И.С. - докторант МИТУ, Алматы, Казахстан, e-mail: isataitazhibay@mail.ru;

Мазаков Т.Ж. - д.ф.-м.н., профессор МИТУ, Алматы, Казахстан, e-mail: tmazakov@mail.ru;

Джомартова Ш.А. - д.т.н., профессор КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: jomartova@mail.ru;

Мазакова А.Т. - PhD, старший преподаватель КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: aigerym97@mail.ru;

Майлыбаева А.Д. - к.ф.-м.н., ассоциированный профессор, Атырауского университета им. Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан, e-mail: a.maylibayeva@asu.edu.kz;

Алиаскар М.С. - лектор МИТУ, Алматы, Казахстан, e-mail: m.alyasqar@gmail.ru;

Мазакова Б.М. - старший преподаватель, Международный университет Астана, e-mail: bayan7080@mail.ru.

Information about the authors

Tazhibay I. - Doctoral student at IETU, Almaty, Kazakhstan, e-mail: isataitazhibay@mail.ru,

Mazakov T. - Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor at IETU, Almaty, Kazakhstan, e-mail: tmazakov@mail.ru;

Jomartova Sh.- Doctor of Technical Sciences, Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: jomartova@mail.ru;

Mazakova A. - PhD, senior lecturer at KazNU al-Farabi, Almaty, Kazakhstan, e-mail: aigerym97@mail.ru;

Mailybayeva A. - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: a.maylibayeva@asu.edu.kz;

Aliaskar M. - Lecturer at IETU, Almaty, Kazakhstan, e-mail: m.alyasqar@gmail.ru;

Mazakova B. - senior lecturer, Astana International University, Astana Kazakhstan, e-mail: bayan7080@mail.ru.

МРНТИ 20.23.17 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1190**

METHODS OF MODELING PHYSICAL PROCESSES IN MATHCAD

G.B. Turebaeva, Zh.B. Doshakova

Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, Kazakhstan

Corresponding author: gulnara_83.06.12@mail.ru

In the context of modern educational realities, characterized by strict criteria for assessing students' knowledge, high academic workload, reduced hours of study, as well as outdated and insufficient equipment, the problem of improving the quality of education is becoming particularly acute. In this regard, the training of specialists within the framework of the credit education system highlights the need to develop new conceptual approaches to the organization of educational and methodological activities and the active introduction of modern information and communication technologies into the educational process. This implies the widespread use of information technology and personal computers for modelling a variety of physical phenomena, both in the framework of training and in the implementation of ongoing knowledge control. This paper demonstrates that the use of modern applied software packages in the educational process can significantly transform the methodology of studying certain sections of the physics course, providing visual visualization of the results of solving problems using these applied tools.

For a clearer demonstration of physical phenomena, this article presents modelling of complex systems described by second-order differential equations using the MathCad software environment. Using the odesolve function built into Mathcad, a graph of the addition of two harmonic oscillations was obtained. The method of solving differential equations presented in this paper can be used to model various other physical processes considered in the physics course. The main purpose of this work is to master the methods of modelling non-stationary physical processes in the Mathcad environment using the odesolve function, using the example of oscillatory movements. In addition, the article highlights the importance of using physical models in the educational process. This allows not only to visualize complex processes, but also contributes to a deeper understanding of the principles underlying physical phenomena.

Keywords: odesolve function, physical processes and models, complex systems, ordinary differential equations of the first and second orders, addition of two harmonic oscillations, modeling of physical processes.

MATHCAD-ТАҒЫ ФИЗИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕРДІ МОДЕЛЬДЕУ ӘДІСТЕРІ

Г.Б. Туребаева, Ж.Б. Дошакова

Қарағанды техникалық университеті Абылқас Сағынов атындағы, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: gulnara_83.06.12@mail.ru

Студенттердің білімін бағалаудың қатаң критерийлерімен, жоғары оқу жүктемесімен, оқу сағаттарының қысқартылған көлемімен, сондай-ақ ескірген және жеткіліксіз жабдықтармен сипатталатын қазіргі білім беру шындықтары жағдайында білім беру сапасын арттыру мәселесі ерекше өткір болып отыр. Осыған байланысты, кредиттік оқыту жүйесі шеңберінде мамандарды даярлау Оқу-әдістемелік қызметті ұйымдастырудың жаңа тұжырымдамалық тәсілдерін әзірлеу және білім беру процесіне заманауи ақпараттық-коммуникациялық технологияларды белсенді енгізу қажеттілігін бірінші орынға қояды. Бұл оқыту шеңберінде де, білімнің ағымдағы бақылауын жүзеге асыру кезінде де әртүрлі физикалық құбылыстарды модельдеу үшін ақпараттық технологиялар мен дербес компьютерлерді кеңінен қолдануды білдіреді. Бұл жұмыста оқу процесінде заманауи қолданбалы бағдарламалық пакеттерді қолдану физика курсының кейбір бөлімдерін зерттеу әдістемесін айтарлықтай өзгертуге мүмкіндік беретіндігі, осы қолданбалы құралдарды қолдана отырып, есептерді шешу нәтижелерін көрнекі түрде визуализациялауды қамтамасыз ететіндігі көрсетілген.

Физикалық құбылыстарды неғұрлым нақты көрсету үшін бұл мақалада Mathcad бағдарламалық ортасын қолдана отырып, екінші ретті дифференциалдық теңдеулермен сипатталған күрделі жүйелерді модельдеу ұсынылған. Mathcad-қа енгізілген odesolve функциясының көмегімен екі гармоникалық тербелісті қосу графигі алынды. Жұмыста ұсынылған дифференциалдық теңдеулерді шешу әдісі физика курсында қарастырылатын әртүрлі басқа физикалық процестерді модельдеу үшін пайдаланылуы мүмкін. Бұл жұмыстың негізгі мақсаты тербелмелі қозғалыстар мысалында odesolve функциясын қолдана отырып, Mathcad ортасындағы стационарлық емес физикалық процестерді модельдеу әдістерін игеру болып табылады. Сонымен қатар, мақалада білім беру процесінде физикалық модельдерді қолданудың маңыздылығы көрсетілген. Бұл күрделі процестерді елестетуге ғана емес, сонымен қатар физикалық құбылыстардың негізінде жатқан принциптерді тереңірек түсінуге мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: odesolve функциясы, физикалық процестер мен модельдер, күрделі жүйелер, бірінші және екінші ретті қарапайым дифференциалдық теңдеулер, екі гармоникалық тербелісті қосу, физикалық процестерді модельдеу.

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В MATHCAD

Г.Б. Туребаева✉, Ж.Б. Дошакова

Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: gulnara_83.06.12@mail.ru

В условиях современных образовательных реалий, характеризующихся строгими критериями оценки знаний студентов, высокой учебной нагрузкой, сокращенным объемом учебных часов, а также устаревшим и недостаточным оборудованием, проблема повышения качества образования становится особенно острой. В связи с этим, подготовка специалистов в рамках кредитной системы обучения выдвигает на первый план необходимость разработки новых концептуальных подходов к организации учебно-методической деятельности и активного внедрения современных информационно-коммуникационных технологий в образовательный процесс. Это подразумевает широкое применение информационных технологий и персональных компьютеров для моделирования разнообразных физических явлений, как в рамках обучения, так и при осуществлении текущего контроля знаний. В настоящей работе демонстрируется, что применение современных прикладных программных пакетов в учебном процессе позволяет существенно трансформировать методику изучения некоторых разделов курса физики, обеспечивая наглядную визуализацию результатов решения задач с использованием этих прикладных средств.

Для более четкой демонстрации физических явлений, в данной статье представлено моделирование сложных систем, описываемых дифференциальными уравнениями второго порядка, с применением программной среды MathCad. При помощи функции odesolve, встроенной в Mathcad, был получен график сложения двух гармонических колебаний. Представленный в работе способ решения дифференциальных уравнений может быть использован для моделирования различных других физических процессов, рассматриваемых в курсе физики. Основная цель этой работы заключается в освоении методов моделирования нестационарных физических процессов в среде Mathcad с использованием функции odesolve, на примере колебательных движений. Кроме того, в статье подчеркивается важность применения физических моделей в образовательном процессе. Это позволяет не только визуализировать сложные процессы, но и способствует более глубокому пониманию принципов, лежащих в основе физических явлений.

Ключевые слова: функция odesolve, физические процессы и модели, сложные системы, обыкновенные дифференциальные уравнения первого и второго порядков, сложения двух гармонических колебаний, моделирование физических процессов.

Introduction. Modern requirements for the training of qualified personnel using credit technology used in higher education dictate the need to create innovative approaches to the organization of educational activities and the integration of modern information and communication tools into the educational process. This implies the active use of digital technologies and personal computers for modelling various physical phenomena both in the framework of training and for conducting ongoing knowledge control. The use of computer technology stimulates students' interest in the discipline being studied, simplifies and accelerates the process of mastering new knowledge and verifying their assimilation, which ultimately contributes to improving the quality of education and a deeper understanding of the material. Replacing traditional lecture demonstrations with their digital counterparts makes it possible to significantly optimize the time spent on their presentation and explanation.

Practice shows that introducing students to computer demonstrations before starting to study a topic, as a preliminary stage, is more effective. The clarity, complexity and interactivity inherent in these programs make them indispensable assistants for both students and teachers. The variety of functions offered by the programs makes the learning process more exciting and productive. In this regard, the study of methods for modelling physical processes using modern application software packages is becoming particularly relevant at the present time [1].

In the credit-modular learning system, an electronic summary becomes one of the options for using modern information technologies in lectures. It differs from an electronic textbook and is developed mainly for the teacher, taking into account his individual teaching style. A multimedia presentation is a key tool in the preparation of an electronic summary. And for a clearer demonstration of certain processes using mathematical modelling, programs such as Mathcad, Matlab and other analogues are used.

As part of our approach, we opt for Mathcad when considering key sections of the theoretical part of the course, as well as materials from practical and laboratory work.

Training complexes developed using digital technologies are a specialized type of technical training tools. Their goal is to simplify the teacher' s work, eliminate monotonous operations, and ensure a high level of learning and skill development.

The use of computers is inextricably linked with the solution of many issues related to the improvement of physical education. Automated learning systems can be used as a supplement to lectures and for a more detailed explanation of the material, for the implementation of ongoing knowledge control at seminars, as well as for the purpose of automating laboratory workshops [2].

For some areas of training, laboratory practice is a key form of education. The main objective of the workshop is to empirically test the theoretical concepts of the discipline under study, to create a clear understanding of the basic principles and ways of their implementation among students, to develop a scientific worldview among future professionals, as well as to form practical skills and experimentation skills.

The realization of creative abilities and professional growth are achieved to the maximum extent through the practical application of acquired knowledge. Laboratory work helps students understand the relationship between theory and practice, demonstrates current trends in the development of experimental science and stimulates interest in independent scientific research and a creative approach. Computer-based learning systems are widely used at all stages of laboratory activities, including experiment planning, data processing and analysis, and the design of research results. In cases where the computer is not the direct object of study, its function is to support ongoing activities [3].

A program that simulates physical experience should be perceived as an integrated part of an interconnected set of educational tools. Computer visualization tools allow you to transform the results into dynamic and understandable images, displaying the dependence of the solution on the set

parameters on a graphical screen. This brings the computational experiment closer to real conditions. Interacting with such a model is fascinating and helps students intuitively understand the essence of fundamental physical equations, developing their scientific intuition. It is important to note that numerical experiment makes it possible to predict previously unknown phenomena and analyse systems that are inaccessible for physical reproduction [4].

Materials and methods. The creation of computer laboratory work dates back to the 90s of the last century, which was made possible by the availability of microcomputers, the development of conversational interfaces, machine graphics and animation technologies. The basis of such educational projects were the methods of machine modelling, which radically changed the approach to physics and gave impetus to the emergence of a new scientific field - computational physics. ”Virtual” laboratory work is educational computer experiments that adequately complement traditional physical experiments conducted in real conditions [5].

The laboratory workshop is aimed at in-depth mastering of theoretical material, familiarization with methods of measuring various physical quantities and development of students’ skills of independent experimental activity. Laboratory experiments are active and relatively autonomous tasks: after studying the theoretical part, the student, under the guidance of a teacher, takes measurements of specified physical quantities, analyses the data obtained, builds graphs and works with them, and then independently formulates conclusions based on the work performed. Thus, laboratory practice plays an important role in the development of research skills among students [6].

There are many examples of phenomena and processes that can be used to create models with varying degrees of realism, covering all areas of physics. An important advantage is that the use of computer modelling in the study of various branches of physics opens up huge potential opportunities by providing modern technologies and specialized programs. These tools not only expand the horizons of research, but also significantly increase them.

Modern approaches to the preparation of students in technical disciplines indicate the importance of teaching not only the basic materials and techniques of work in the specialty, but also the use of various methods of analysis and modelling. However, given the limited time of classes and the physical condition of laboratory equipment, it is necessary to reconsider traditional ideas about the pedagogy of natural science disciplines. This is especially true of fundamental disciplines such as physics, which is central to the development of the engineering approach.

The need to use application software in the learning process is associated with trends towards increasing various requirements for the clarity and effectiveness of the disclosed material, as well as the need for effective preparation of students to work with technology. This article describes how the new Mathcad mathematical modelling system can significantly improve the study of physical processes.

For example, modelling of forced oscillations without taking into account resistance under the influence of an external periodic force is shown. The application of /odesolve for solving second-order ordinary differential equations is demonstrated. The constructed graphs make it possible not only to reveal deeper and more meaningful aspects of the very nature of the process under consideration, but also to study its behaviour in comparison with the given initial conditions. These methods are also important for developing students’ skills in interpreting mathematical models of studied physical phenomena.

The Mathcad program creates other opportunities for teachers: it becomes possible to introduce dynamic models into educational materials, which makes it possible to replace some traditional calculations using computers and facilitate the study of complex systems. At the same time, the use of such approaches leads to the formation of engineering thinking among students, which is necessary for further professional activity.

In addition, it is worth emphasizing that the main purpose of this work is to explain that the use of Mathcad helps to solve a specific problem from a physics course, as well as to prove the importance of digital technologies in the educational process. The modelling approach used can be applied to the study of other physical systems, such as electrical circuits, heat transfer, and wave phenomena.

In our opinion, the Mathcad package is the most adapted for the educational process, as it includes a text editor, a computing module, and a graphics processor. Mathcad is a universal system that can be used in various fields of science and technology where mathematical methods are used. Writing commands in Mathcad in a language close to standard mathematical formulas makes it much easier to set and solve problems [7].

Mathcad implements functionality for finding solutions to partial differential equations, as well as for solving systems of such equations. The Mathcad toolkit makes it possible to find solutions to parabolic and hyperbolic equations in one dimension (using one spatial and one temporal variable). Despite the apparent limitations of this set of tasks, it covers a significant part of the problems that arise in the physical and engineering fields.

In Mathcad, to solve ordinary differential equations using numerical methods, you can choose between the Given/odesolve solution block and built-in functions, for example, rkfixed, which were used in previous versions. The use of the Given/odesolve solution block is usually considered preferable due to the clarity of the problem formulation and presentation of the results obtained. At the same time, the built-in functions provide the user with more control over the settings of the numerical solution.

Mathcad implements a specialized built-in function designed for numerical solution of differential equations. It has the following syntax: Odesolve (x, b[, steps]).

To solve the Cauchy problem, it is necessary to set the initial conditions and determine the endpoint of the integration interval. These parameters, along with the equation, are formatted in the Given block, after which the odesolve function is called. It is important to consider a number of nuances when using it. If the number of step steps is set, the calculations are performed with a constant integration step. Otherwise, an adaptive step selection method is used.

The functional scheme of Odesolve(x, b, [step]) looks like this: it forms a function that is the result of solving a differential equation. This function is intended to be used inside a block starting with the Given statement.

Here:

- x is the independent variable over which the integration takes place, and it must be represented by a real number.

- b is the value of the endpoint of the interval where the integration is performed.

- step is an optional parameter that defines the increment step size of the integration variable.

MathCAD has the ability to solve differential equations directly numerically, where the highest derivative is expressed explicitly (that is, the equation has the form a).

$$\frac{d^2}{dt^2}x(t) - sin(\frac{d}{dt}x(t)) = -x(t)$$

To solve a differential equation, you can use the odesolve function and the specialized Given-Odesolve block. This block includes:

1. The Given keyword, which initiates the decision process.

2. The differential equation itself, written in the usual mathematical form, but with some changes:

a) the logical equality operator is used to denote equality (entered by pressing Ctrl - =);

b) the integrated function is always specified with an explicit argument (for example, x(t), and not just x); c) derivatives can be denoted using the standard operators $\frac{d}{dx}$, $\frac{d^n}{dx^n}$ and, or using the derivative symbols obtained by pressing Ctrl-F7 (for example, x’(t), x’ ’(t)).

3. Setting the initial or boundary conditions for the integrable function and its derivatives (except

for the highest one). These values are also set using the logical equality operator. The number of set values must correspond to the order of the equation. For example, for a second-order equation $\frac{d^2x(t)}{dt^2} + \frac{dx(t)}{dt} = -x(t)$ it is necessary to specify the initial values of the function and its first derivative, for example: x(0) = 1; x'(0) = 0.5. The derivative symbol «'» is entered using the keyboard shortcut Ctrl-F7.

The Odesolve function. The required first parameter is the name of the independent variable. The second required parameter specifies the final value of this variable. The optional third parameter specifies the number of steps used for numerical integration. Odesolve returns a function as a result of its work, which is a numerical approximation of the solution of a differential equation in a given range of values of an independent variable. The resulting function can be used to calculate the values of the desired function at any point in the interval, as well as to visualize the solution as a graph.

Let' s consider an example: let' s find a solution to the previously considered differential equation in the range of values of the variable t from 0 to 5. Let' s determine the values of x for t equal to 2 and 4, and also plot the resulting solution (see Fig.1) [8].

Listing 1. Solving a second-order equation for values of t=0..5

Given

$\frac{d^2}{dt^2}x(t) + \frac{d}{dt}x(t) = -x(t)$

$x'(0) = 0.5 \quad x(0) = 1$

$x := odesolve(t, 5)$

$x(2) = 0.36 \quad x(4) = -0.178$

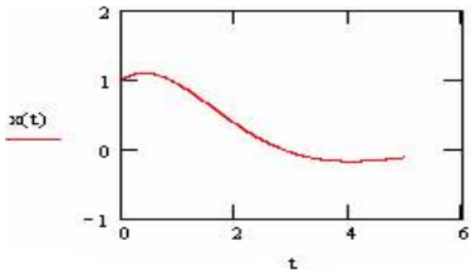


Fig.1 - Graph of the second-order equation for values t=0..5

Listing 2. The solution of this differential equation b(a) and the derivative of the solution function is c(a)

Given

$\frac{d^2}{da^2}b(a) + a^2 \cdot \frac{d}{da}b(a) + a \cdot b(a) = e^a \cdot \cos a$ The differential equation is given

$b(0) = -8 \quad b'(0) = 3$ Initial conditions are set

$b := odesolve(a, 5, 100)$ The solution of the differential equation is given

$c(a) := \frac{d}{da}b(a)$ Calculating the derivative of b(a)

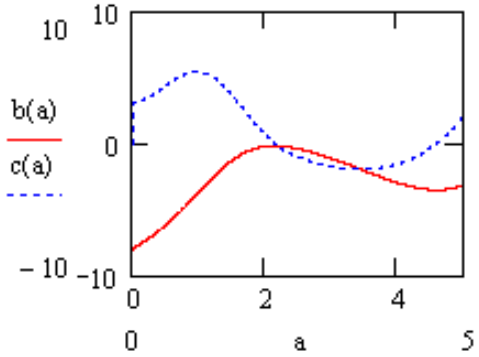


Fig.2 - The graph of the solution of a given differential equation b(a) and the derivative of the solution function - c(a)

Remarks:

1. The equation must be linear with respect to the highest derivative.

2. The number of specified initial or boundary conditions within the block must be equal to the order of the equation.

3. When writing an equation to indicate the derivatives of a function, use the special buttons from the Math panel or ' (stroke) - [Ctrl+F7], for the equal sign = [Ctrl+=] (including for additional conditions).

4. The end point must be larger than the start point.

5. Initial and boundary conditions of mixed type are not allowed (f'(a)+f(a)=5).

6. The desired function in the block must necessarily have an argument (f(x)).

Based on the above illustrations, this article demonstrates various approaches to solving

ordinary differential equations used to model oscillatory phenomena in physics. In particular, using the odesolve function in the Mathcad program, a graph of the addition of two harmonic oscillations was obtained. This process is described by equation $y'' + qy = a\sin wt$, which is studied in the section of the physics course "Vibrations and waves".

Listing 3. Solution of the Cauchy problem for second-order ordinary differential equations

Given

$a := 1 \quad q := 1.5 \quad w := 1$

$y''(t) + q \cdot y(t) = a \cdot \sin w \cdot t$

$y'(0) = -1 \quad y(0) = 0$

$t := 0, 0.2..100$

$y := odesolve(t, 60)$

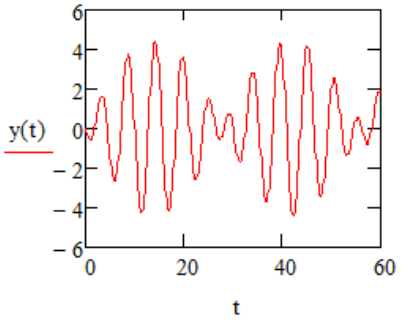


Fig.3 - The graph obtained by adding two harmonic oscillations

The novelty of the work is that the considered methods for solving differential equations differ from those previously proposed in that it is focused on modelling physical processes, which is characterized by a simple methodology and is suitable for use by students without special training.

Results and discussion. The presented methods for solving differential equations in Mathcad can be used to model oscillatory physical processes, as well as an example of solving other physical problems. As a result of these modeling works, the user receives a ready-made model of the system and can only arbitrarily set the initial conditions and control all the parameters of the model during the numerical experiment. The resulting nonlinear model is widely used in the study of branches of physics: mechanics, electricity and magnetism, vibrations and waves. It can also be used during lectures, practical, laboratory classes, as an element of information technology. Why was Mathcad chosen because it has a simple methodology and is suitable for students to use without special training. [9]

This development aimed to deepen students' understanding of fundamental physical principles, their interdependence and logical structure; to facilitate the understanding of the relationship between different physical quantities, to compare the real behaviour of an object, analytical expressions and their visual representation. An interactive platform is being created for the user, allowing them to freely experiment with mathematical models describing physical objects, phenomena, and processes.

Students are able to use simple object models as building blocks to develop complex systems. Instead of simply performing laboratory work according to ready-made instructions, they can create new circuits using existing models, and even adapt these models to their needs. By understanding the principles of interaction of elements, establishing information links between them and analysing the system' s response to external influences, the user learns how to manage complex systems, organically combining the study of physics with computer science. At the same time, what is especially important, computer science becomes a tool for students with obvious practical applications.

Modern software packages stand out because they allow you to enter mathematical expressions or functions to perform numerical calculations, set various values for the variables used, create graphical representations of simulation results, generate random numbers (to simulate random processes), perform logical operations, which makes it possible to apply a variety of numerical methods. When using Mathcad, the student is freed from the need to write code for a computational algorithm and create auxiliary program blocks. Mathcad significantly reduces the amount of monotonous computing work. Mastering Mathcad

is easy and fast, without requiring in-depth study of voluminous manuals, writing notes, or memorizing complex rules for study and practical application. The simplicity of Mathcad lies in the fact that you can get a solution to the problem in a short time [10].

The integration of modern applied software tools into educational practice opens up new horizons for teaching physics and computer science. This allows us to review traditional approaches to the study of topics involving large, routine calculations, solving differential equations, graphical representation of data and visualization of results. Thanks to the software packages, complex tasks that were previously available only through analytical calculations can now be solved using numerical computer modelling methods that offer significant advantages. This approach allows not only to simplify the learning process, but also to make it more visual and understandable for students. The use of numerical methods expands the boundaries of cognition, allowing us to study physical systems in dynamics and from various points of view, which was inaccessible with an exclusively analytical approach. Thus, modern application packages are becoming an indispensable tool in education, increasing the effectiveness of learning and stimulating interest in the study of physics and computer science. [11].

Currently, computer modeling and computational experiments are a sought-after approach to the study of physical processes. This method is characterized by unique features, advantages, and limitations that distinguish it from other methods of analyzing physical systems. It is important that university students have knowledge of computer models, numerical methods used to study various objects, and confidently use modern software. Thanks to modern application programs, complex systems of equations are solved instantly, graphs of the studied dependencies are plotted, and experiments that are difficult to reproduce in reality are modelled.

Conclusion. Consequently, the use of applied software in the educational process makes it possible to draw conclusions based on theoretical principles, compare them with experimental data and make changes to the original model. To display the real system and acquire skills in the field of modeling, an algorithm was created and a program for adding two harmonic vibrations was written. In addition, the user can engage in design and research work, which makes it possible to coordinate the creation, testing and improvement of innovative systems, for example, technical devices, devices and mechanisms. In this context, the Mathcad software package is a valuable learning tool, allowing you to teach various subjects (numerical methods, computer modeling of physical phenomena, mathematical modeling, physics, and others) at a more in-depth level [12].

Литература

1. Дьяконов В. П. Энциклопедия компьютерной алгебры /ДМК Пресс. -2016. -1264 с. ISBN 978-5-94074-490-0.

2. Голанова А. В., Голикова Е. И. Готовность преподавателя к использованию компьютерных математических систем в образовательном процессе // Вестник Череповецкого государственного университета. -2019. -Т.1 (88). -С.144-153. DOI 10.23859/1994-0637-2019-1-88-14.

3. Волков Е. А. Численные методы/Санкт-Петербург: Лань. -2004. -248 с. ISBN 5-8114-0538-3.

4. Isrokatun I., Haryani C.S., Rahmi N.I. Analysis of mathematical problem-posing ability// Journal of Physics: Conference Series. -2021. -Т.1869(1): 012122. DOI 10.1088/1742-6596/1869/1/012122.

5. Воскобойников В. Е., Задорожный А. В. Основы вычислений и программирования в пакете MathCAD PRIME: учебное пособие/Лань. - 2016. - 224 с. ISBN 978-5-8114-2052-0.

6. Randolph Martin II D. Engineering Calculations with Creo Parametric and PTC Mathcad Prime (Creo Power Users)/ Independently published. - 2020. -210 p. ISBN 979-8649196673.

7. Воскобойников Ю. Е., Задорожный А. Ф. Изучение и программирование в пакете Mathcadprime 2.0: учебное пособие.- метод. пособие для студентов/ Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин). - 2021. - 224 с.

8. Maxfield B. An Introduction to PTC® Mathcad Prime® 3.0.// Academic Press. -2014. -P.3-34. DOI 10.1016/B978-0-12-410410-5.00001-5.

9. Кондратьев А. С., Ляпцев А.В. Физика. Задачи на компьютере / Физматлит. - 2008. - 400 с. ISBN 978-5-9221-0917-8.

10. Левицкий А.А. Информатика. Основы численных методов: Лабораторный практикум/Красноярск: ИПЦ КГТУ. -2005. -111 с. ISBN 5-7636-0745-7.

11. Мукушев Б.А., Нурбакова Г.С., Жаугашева С.А., Исимов Н.Т.Бейсызық математикалық маятниктің тербелісін MathCAD қолданбалы программалар пакеті көмегімен зерттеу // ҚазҰТЗУ Хабаршысы. -2016. - №3 (115). -С. 592-597.

12. Мукушев Б.А., Нурбакова Г.С., Исимов Н.Т. Математикалық маятник тербелісін MathCad пакеті көмегімен зерттеу // ҚазҰТЗУ Хабаршысы -2016. -№6 (118). -С.175-179.

References

1. D’ yakonov V. P. Enciklopediya komp’ yuternoj algebry/DMK Press. - 2016. - 1264 s. ISBN 978-5-94074-490-0. [in Russian]

2. Golanova A. V., Golikova E. I. Gotovnost’ prepodavatelya k ispol’ zovaniyu komp’ yuternyh matematicheskih sistem v obrazovatel’ nom processe // Vestnik CHerepoveckogo gosudarstvennogo universiteta. -2019. -T.1 (88). -S.144-153. DOI 10.23859/1994-0637-2019-1-88-14. [in Russian]

3. Volkov E. A. CHislennye metody/Sankt-Peterburg: Lan’. - 2004. - 248 s. ISBN 5811405383. [in Russian]

4. Isrokatun I., Haryani C.S., Rahmi N.I. Analysis of mathematical problem-posing ability// Journal of Physics: Conference Series. -2021. -T.1869(1): 012122. DOI 10.1088/1742-6596/1869/1/012122.

5. Voskobojnikov V. E., Zadorozhnyj A. V. Osnovy vychisleniy i programmirovaniya v pakete MathCAD PRIME: uchebnoe posobie/ Lan’. -2016. -224 s. ISBN 97858114 20520. [in Russian]

6. Randolph Martin II D. Engineering Calculations with Creo Parametric and PTC Mathcad Prime (Creo Power Users)/ Independently published. -2020. -210 p. ISBN 979-8649196673.

7. Voskobojnikov YU. E., Zadorozhnyj A. F. Izuchenie i programmirovanie v pakete Mathcadprime 2.0: uchebnoe posobie.- metod. posobie dlya studentov/ Novosibirsk: NGASU (Sibstrin). -2013. -224 s. ISBN 9785811420520. [in Russian]

8. Maxfield B. An Introduction to PTC® Mathcad Prime® 3.0.// Academic Press. -2014. -P.3-34. DOI 10.1016/B978-0-12-410410-5.00001-5. .

9. Kondrat’ ev A.S., Lyaptsev A.V. Fizika. zadachi na komp’ yutere / Fizmatlit. -2015. -105 s. ISBN 978-5-9221-0917-8. [in Russian]

10. Levickij A.A. Informatika. Osnovy chislennyh metodov: Laboratornyj praktikum/Krasnojarsk: IPC KGTU. – 2005. - 111 s. ISBN 5-7636-0745-7.[in Russian]

11. Mukushev B.A., Nurbakova G.S. Zhaugasheva S.A., Isimov N.T.Beisyzyk matematikalyk mayatniktin terbelisin MathCAD koldanbaly programmalar paketi komegimen zertteu // KaZUTZU Khabarshysy. -2016. -№3 (115). -S. 592-597.

12. Mukushev B.A., Nurbakova G.S. Isimov N.T. Matematikalyқ mayatnik terbelisin MathCad paketi kөmegimen zertteu // ҚaZҰTZU Khabarshysy - 2016. - №6 (118). –S.175-179.

Information about the authors

Turebaeva G.B. - Master of Physics, Senior Lecturer, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: gulnara_83.06.12@mail.ru;

Doshakova Zh. B. - Master of Physics, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: m29kt@mail.ru.

Сведения об авторах

Туребаева Г.Б. - магистр физики, КарТУ имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, e- mail: gulnara_83.06.12@mail.ru;

Дошакова Ж.Б.- магистр физики, КарТУ имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, e- mail: m29kt@mail.ru.

МРНТИ 28.23.29 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1143**

A COMPREHENSIVE REVIEW OF INFORMATION SYSTEMS FOR SCIENTIFIC PROJECT ASSESSMENT

[1]G.M. Mutanov, [2]S.T. Amanzholova, [1]O.A. Ussatova, [2]L.S. Aldasheva, [2]A.S. Amirova

[1]Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan,
[2]Astana IT University, Astana, Kazakhstan

Corresponding author: akzhibek.amirova@astanait.edu.kz

Evaluation of scientific and scientific-technical projects is a multifaceted task that requires a balanced approach to the analysis of innovativeness, feasibility and potential impact of research initiatives. Traditional methods of expert evaluation are based on subjective conclusions of specialists, which create risks of inconsistency and limited reproducibility of solutions. In this regard, the importance of intelligent information systems that can improve the quality, transparency and efficiency of evaluation procedures is increasing. The article presents a comprehensive review of architectural solutions, network models and technologies used in information systems designed to support expert evaluation of scientific projects. Both classical knowledge-based approaches and modern solutions using artificial intelligence methods are considered: machine learning, natural language processing (NLP), fuzzy logic, and genetic algorithms. Particular attention is paid to the use of blockchain technologies to ensure the reliability, security and auditability of expert procedures. Key decision support methods are analyzed, including multi-criteria analysis methods, optimization algorithms, and automated distribution of applications between experts. Examples of successful implementation of cloud and distributed architectures in the scientific expertise system are presented.

Keywords: intelligent systems, expert assessment, scientific projects, information systems, systems architecture, machine learning (ML), fuzzy logic, blockchain, multi-criteria analysis, natural language processing (NLP).

ҒЫЛЫМИ ЖОБАНЫ БАҒАЛАУ ҮШІН АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ КЕШЕНДІ ШОЛУ

[1]Г.М. Мутанов, [2]С.Т. Аманжолова, [1]О.А. Усатова, [2]Л.С. Алдашева, [2]А.С. Амирова

[1]Ақпараттық және есептеу технологиялары институты, Алматы, Қазақстан,
[2]Astana IT University, Астана, Қазақстан,
e-mail: akzhibek.amirova@astanait.edu.kz

Ғылыми және ғылыми-техникалық жобаларды бағалау зерттеу бастамаларының жаңашылдығын, орындылығын және әлеуетті әсерін талдауға теңгерімді көзқарасты талап ететін көп қырлы міндет болып табылады. Сараптамалық бағалаудың дәстүрлі әдістері шешімдердің сәйкессіздік және шектеулі қайталану қаупін тудыратын мамандардың субъективті қорытындыларына негізделген. Осыған байланысты бағалау рәсімдерінің сапасын, ашықтығын және тиімділігін арттыра алатын интеллектуалды ақпараттық жүйелердің маңыздылығы артып келеді. Мақалада ғылыми жобалардың сараптамалық бағалауын қолдауға арналған ақпараттық жүйелерде қолданылатын архитектуралық шешімдер, желілік модельдер мен технологиялардың жан-жақты шолуы берілген. Классикалық білімге негізделген тәсілдер де, жасанды интеллект әдістерін пайдаланатын заманауи шешімдер де қарастырылады: машиналық оқыту, табиғи тілді өңдеу (NLP), анық емес логика және генетикалық алгоритмдер. Сараптамалық процедуралардың сенімділігін, қауіпсіздігін және аудиттілігін қамтамасыз ету үшін блокчейн технологияларын пайдалануға ерекше назар аударылады. Шешім қабылдауды қолдаудың негізгі әдістері талданады, соның ішінде көп критериалды талдау әдістері, оңтайландыру алгоритмдері және сарапшылар арасында қосымшаларды автоматтандырылған тарату. Ғылыми сараптама жүйесінде бұлтты және бөлінген архитектураларды сәтті енгізу мысалдары келтірілген.

Түйін сөздер: интеллектуалды жүйелер, сараптамалық бағалау, ғылыми жобалар, ақпараттық жүйелер, жүйелер архитектурасы, машиналық оқыту (ML), анық емес логика, блокчейн, көп критериалды талдау, табиғи тілді өңдеу (NLP).

КОМПЛЕКСНЫЙ ОБЗОР ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАУЧНЫХ ПРОЕКТОВ

[1]Г.М. Мутанов, [2]С.Т. Аманжолова, [1]О.А. Усатова, [2]Л.С. Алдашева, [2]А.С. Амирова

[1]Институт информационных и вычислительных технологий, Алматы, Казахстан,
[2]Astana IT University, Астана, Казахстан,
e-mail: akzhibek.amirova@astanait.edu.kz

Оценка научных и научно-технических проектов – многогранная задача, требующая сбалансированного подхода к анализу инновационности, реализуемости и потенциального воздействия исследовательских инициатив. Традиционные методы экспертной оценки основаны на субъективных выводах специалистов, что создает риски противоречивости и ограниченной воспроизводимости решений. В этой связи возрастает значение интеллектуальных информационных систем, способных повысить качество, прозрачность и эффективность процедур оценки. В статье представлен комплексный обзор архитектурных решений, сетевых моделей и технологий, используемых в информационных системах, предназначенных для поддержки экспертизы научных проектов. Рассматриваются как классические подходы, основанные на знаниях, так и современные решения, использующие методы искусственного интеллекта: машинное обучение, обработка естественного языка, нечеткая логика и генетические алгоритмы. Особое внимание уделено использованию блокчейн-технологий для обеспечения надежности, безопасности и проверяемости экспертных процедур. Проанализированы основные методы поддержки принятия решений, включая методы многокритериального анализа, алгоритмы оптимизации и автоматизированное распределение заявок между экспертами. Приведены примеры успешного внедрения облачных и распределенных архитектур в систему научной экспертизы.

Ключевые слова: интеллектуальные системы, экспертная оценка, научные проекты, информационные системы, архитектура систем, машинное обучение (МО), нечеткая логика, блокчейн, многокритериальный анализ, обработка естественного языка (NLP).

Introduction. The development of scientific research activities and increasing competition for funding pose the challenge for the scientific community to modernize the procedures for assessing and reviewing projects. The existing practice of expert evaluation is usually manual, fragmented and subjective. This reduces the efficiency of research program management, increases the risks of unreliable decisions, and complicates the scalability of the process with an increase in the volume of submitted applications. In the context of digitalization and growing data volumes, it becomes necessary to move from the traditional expert model to intelligent information systems capable of providing a more accurate, objective and reproducible assessment of projects [1].

The object of the study is information systems designed to assess scientific and scientific-technical projects.

The purpose of this work is to form a holistic view of the architecture, technologies and algorithms underlying intelligent expert evaluation systems, as well as to identify areas for their further development and application in the practice of scientific administration.

The relevance of the topic is due to the growing interest in digital platforms for decision support in science, the emergence of new technological solutions, as well as state policy in the field of digital transformation of science. Despite the availability of private solutions, a systematic review combining architectural, algorithmic and

applied aspects of designing such systems is still insufficient in scientific literature. This creates a methodological gap between IS developers and specialists in the field of scientific expertise.

The scientific novelty of the study lies in the integrated approach to systematizing existing solutions: from classical expert systems and multi-criteria models to modern methods of machine learning, automated annotation, application distribution, blockchain registries and cloud architecture. The work offers a comparative analysis of the approaches used in the literature over the past ten years, with an emphasis on their applicability in scientific practice.

The hypothesis of the study is that the use of modular architectures and hybrid AI models in information systems can significantly improve the quality, transparency and adaptability of expert assessment processes.

Materials and Methods. The methodological basis of this study is a systematic review aimed at identifying, classifying and analyzing architectural solutions, technologies and algorithms used in intelligent information systems designed to evaluate scientific and scientific-technical projects.

The study was conducted in several stages:

1. Formulating criteria for selecting publications.

The review included scientific articles published between 2015 and 2025, primarily in English-language peer-reviewed journals indexed in the Scopus, IEEE Xplore, SpringerLink, ACM DL databases, as well as in authoritative Kazakh and Russian sources. The main selection criteria were:

- focus on expert evaluation information systems;

- availability of a description of the architecture, models or algorithms used;

- practical focus of solutions.

Articles devoted exclusively to administrative, sociological or political aspects of scientific expertise without a technical component were excluded.

2. Search and selection of sources.

To ensure complete coverage, the following keywords were used: expert evaluation systems, project assessment, decision support systems, AI in research evaluation, scientific project management, fuzzy logic, blockchain for science, multi-criteria decision making (MCDM). At the first stage, more than 40 publications were identified, of which 25 most relevant sources were selected after reference analysis.

3. Classification and systematization of data.

The publications were analyzed according to the following parameters:

- type of architecture;

- type of technologies used;

- decision-making methods used;

- scope and maturity stage.

4. Analysis of methods and algorithms.

Particular attention is paid to the analysis of algorithmic solutions:

- decision support systems based on multi-criteria models;

- machine learning methods for analyzing application texts and predicting;

- optimization algorithms;

- transparency technologies.

Each method was described in the context of its applicability to the task of scientific expertise, and its advantages and limitations were considered.

Architecture of intelligent assessment systems

Developing an intelligent project evaluation system requires a well-defined architecture that integrates data, expert knowledge, and analytical models. Early approaches often took the form of knowledge-based expert systems, where domain rules and criteria guided project evaluations. For example, Mutanov et al. [2] developed a decision support methodology using mathematical models to evaluate innovative projects along two key dimensions, “innovativeness” (I) and “competitiveness” (K), visualizing each project as a point on a K=f(I) matrix for expert panels. This architecture formalized how scientific and business metrics intersect in project value and allowed experts to compare projects using a graphical decision map. Such rule-based or

model-driven architectures lay the foundation by defining the criteria, metrics, and workflow for evaluation. Modern intelligent system architectures increasingly use cloud and network technologies to improve collaboration and scalability.

A prominent example is the remote peer review system developed by Yu et al. for urban planning projects [3]. The system architecture uses a cloud service platform to pool information resources and remote experts, enabling online project reviews even in resource-constrained regions. Key features include shared data repositories, GIS tools for spatial analysis, and secure access for geographically distributed evaluators. By virtualizing resources using cloud computing, this architecture achieves the integration of various data sources and supports a seamless workflow between multiple users, thereby improving the efficiency and "scientific nature" of the review process. This illustrates how distributed architecture can modernize the peer review process for scientific projects.

Another important architectural trend is the incorporation of blockchain networks into the system design. Blockchain technology, originally known as cryptocurrency, is now seen as a "software connector" that can link system components in a decentralized, tamper-proof manner. Xu et al. described blockchain as a new connector in software architecture that can ensure data integrity and trust between distributed modules [4]. In project evaluation systems, this implies that project proposals, reviews, and decisions can be recorded on a blockchain ledger to prevent unauthorized changes and improve transparency. Zyskind et al. demonstrated how blockchain can be used to protect personal data by decentralizing access control [5]. By applying this, an evaluation system can protect sensitive information about proposals while allowing authorized experts to access the data through cryptographic keys.

In general, the architecture of an intelligent project evaluation system is often modular, combining a data layer, an intelligence layer, and an interface layer. Indeed, national science management strategies are moving towards unified digital ecosystems: for example, the concept of science development in Kazakhstan for 2023–2029 envisages the creation of a unified information system "Science of Kazakhstan", which digitalizes all scientific processes using data science, big data, and other digital tools [1].

Network Models and AI Methods in Project Evaluation

Intelligent systems use advanced AI models or "network models" to analyze and interpret the complex data used in project evaluation. By "network models" in this context, we mean neural networks and deep learning models that have revolutionized the processing of unstructured data. In a review, Jordan and Mitchell identified machine learning as a transformative technology and predicted that learning algorithms will increasingly work collaboratively and process multiple data sources [6]. Indeed, modern intelligent evaluation systems use a combination of AI models:

- Natural language processing (NLP) and text mining: Project proposals and research papers contain a lot of text. Deep learning models can analyze documents to extract key information. Recent research has led to the creation of large-scale datasets and models for summarizing multiple documents. For example, the Multi-News dataset presented by Fabbri et al. contains thousands of clusters of news articles with summaries, allowing neural models to learn to generate consistent summaries from multiple sources [7]. Building on this, Lu et al. created Multi-XScience, a dataset for summarizing multiple scientific articles related to a given topic [8]. Akhmetov et al. proposed an extractive summarization method for scientific articles based on greedy optimization, demonstrating how AI can automatically highlight the most important sentences in a paper [9]. Integrating such summarization tools into an expert system allows a reviewer to instantly obtain a summary of the literature on a sentence or previous results, saving time and improving understanding.

- Knowledge graphs and semantic networks: Intelligent systems can represent domain knowledge as concept graphs, for example by linking projects to related scientific fields,

experts, or previous works. This helps recommend suitable expert reviewers or identify collaboration opportunities [10-12].

- Plagiarism and integrity checking: Ensuring the originality of submissions is an important part of project review. Machine learning techniques have improved plagiarism detection by learning patterns of textual similarity. Kamath and Ghosh proposed a machine learning approach to plagiarism detection that can be used to compare a new submission with a database of existing documents to detect potential copying [13].

- Question and answering and information retrieval: Domain-specific question and answer systems can help experts find facts quickly. Sabieva et al. developed a legal question answering system that uses machine learning to extract accurate answers from legal texts [14]. Similarly, a quality assurance module in a project appraisal system could allow an expert to ask questions such as "What was the success rate of projects in area X last year?" or "What projects similar to this one have been funded before?" and receive an immediate answer from a knowledge base.

- Deep learning for forecasting: Neural network models are also used to predict project outcomes or estimates. Given enough historical data, a model can be trained to predict the probability of success. LeCun et al. noted that deep learning enables multi-layered representation learning, achieving remarkable results in pattern recognition and forecasting tasks [15]. Sikimić and Radovanović attempted to use machine learning to predict project performance in high-energy physics proposals but found that accurately predicting project success based on proposal data alone is non-trivial [16]. This highlights that while neural models are powerful, their predictions must complement human expert judgment.

Decision Support Methods and Algorithms

In addition to the architecture and artificial intelligence components, intelligent project evaluation systems rely on a large literature on decision support methodologies. Project selection is inherently a multi-criteria decision problem, where there are several evaluation criteria that need to be considered simultaneously [17]. Many quantitative methods have been developed and applied over the past decades:

- Multi-criteria decision making (MCDM) methods: classical methods such as Analytic Hierarchy Process (AHP), Analytic Network Process (ANP), TOPSIS, DEMATEL. For example, AHP allows pairwise comparison of projects for each criterion to obtain priority scores, while ANP extends this by considering interdependencies between criteria. Integrated approaches are also common: researchers combine to exploit their complementary strengths. Also, an expert system can use a knowledge base of rules to determine the appropriate MCDM method in each context, then perform calculations and present a ranked list of projects to decision makers [18-20].

- Fuzzy logic and uncertainty handling: Evaluation of scientific projects often involves uncertainty - data may be incomplete, expert judgments may be subjective. Fuzzy logic provides the ability to model uncertain or imprecise information. Many of the above-mentioned MCDM methods have fuzzy extensions to account for ambiguity in expert assessments. The integration of fuzzy sets allows an intelligent system to reason in linguistic terms ("high risk", "moderate innovativeness") and still perform quantitative analysis. This leads to more robust decision support that can reflect confidence levels or variations in expert opinions [21-24].

- Optimization algorithms: project selection may require portfolio optimization under constraints. Evolutionary algorithms and other optimizers play a role here. Genetic algorithms (GAs), described by Goldberg, mimic natural selection to find optimal solutions and have been applied to project selection problems [25]. Esengalieva investigated GA in the context of evaluating research projects that are likely to optimize the combination of projects that maximize the overall benefit under given constraints [26]. Similarly, researchers have used data envelopment analysis (DEA) to measure project performance by treating projects as decision units transforming inputs into outputs. For example,

Namazi et al. used a fuzzy DEA approach to evaluate the performance of R&D projects under uncertainty [27]. These optimization and performance analysis techniques can be embedded in intelligent systems to suggest an optimal set of projects or identify inefficient projects.

- Automated reviewer assignment: Intelligent decision support can help here by modeling the expertise and workload of reviewers. Liu et al. presented an approach to intelligent assignment of reviewers for research project selection, implemented as an assignment decision support system [28]. Their system analyzes project topics and reviewer profiles to recommend optimal reviewer-project matches. This type of subsystem is often part of the overall architecture of modern grant management platforms.

To provide a structured overview of the technological components used in intelligent project evaluation systems, Table 1 summarizes the key methods, their core purposes, and supporting literature. The table consolidates architectural solutions, artificial intelligence techniques, and decision support tools that collectively enhance the objectivity, efficiency, and transparency of evaluation processes.

Table 1 - Key Components and Methods in Intelligent Project Evaluation Systems

Component / Method	Purpose	References
Mathematical Models	Graphical evaluation model of projects by innovativeness and competitiveness	[2]
Cloud Architectures	Remote access, collaboration, scalability	[3]
Blockchain in Evaluation Systems	Data immutability, transparency, and access control	[4], [5]
Neural Network Models (NLP, DL)	Text analysis, prediction, information extraction	[6]
Summarization Tools	Extracting key ideas from proposals and research papers	[7]; [8]; [9]
Knowledge Graphs / Semantic Networks	Structuring domain knowledge and linking to experts	[10-12]
Plagiarism Detection (ML)	Detecting textual similarities and copying	[13]
Question Answering Systems (QA)	Fact retrieval and statistics from knowledge bases	[14]
Forecasting (DL, NN)	Predicting probability of project success	[15]; [16]
Multi-Criteria Decision Making (AHP, ANP, TOPSIS)	Ranking based on multiple criteria	[17]; [18-20]
Fuzzy Logic	Modeling uncertainty in expert opinions	[21-24]
Genetic Algorithms (GA)	Portfolio optimization under constraints	[25]; [26]
DEA (Data Envelopment Analysis)	Efficiency assessment using inputs and outputs	[27]
Reviewer Assignment Systems	Matching reviewers by topic and workload	[28]

Results and Discussion. This study allowed us to systematize and analyze modern architectural and algorithmic solutions used in information systems designed for expert evaluation of scientific and technical projects. The review covers publications over the past ten years, primarily from the Scopus and IEEE databases, as well as several significant domestic sources, which ensures a broad coverage of both the international and local context.

Architectural solutions and structural approaches

The analysis showed that three main types of architecture are most widely represented: centralized, modular, and distributed. Centralized solutions are typical for internal systems of universities and foundations, where all processes - from applying to forming a rating - are closed within a single platform. Such systems are relatively easy to implement, but they are poorly scalable and vulnerable to the human factor.

Modular architecture, on the contrary, demonstrates a high potential for adaptability. They assume the presence of separate components: data storage, analytics, interfaces for interaction with experts, as well as subsystems for analyzing scientific information. Such solutions are easier to scale and integrate with external services, including international databases of scientific publications. Platforms that support API integration with ORCID, Scopus, and Web of Science demonstrate higher flexibility and relevance of data.

Distributed and cloud solutions deserve special attention. Some publications propose conceptual models based on blockchain technologies that ensure transparency, immutability, and decentralization of examination processes. However, such approaches have not yet been widely used in existing systems and require additional research in terms of their legal and organizational support.

Evaluation algorithms and intelligent methods

Among algorithmic solutions, the most widely used are multi-criteria analysis methods: AHP, TOPSIS, ANP and their modifications with elements of fuzzy logic (Fuzzy AHP). They are used both to form project ratings and to rank the evaluation criteria themselves - such as scientific novelty, compliance with priorities, expected return, applicant' s reputation, etc.

In recent years, there has been a noticeable increase in interest in the use of machine learning methods. The areas of automatic classification of projects, predicting their success, as well as automated summarization of the substantive part of applications using natural language processing (NLP) models are developing especially actively. This allows them to partially relieve experts and speed up the primary sorting process.

Optimization methods, in particular genetic algorithms, are also used in the tasks of distributing applications among experts considering their specialization, conflicts of interest and workload. Such approaches ensure a fairer and more balanced distribution and minimize the influence of the subjective factor.

Practical aspects of integration and application

In practice, the greatest difficulty is integration with external systems and platforms, especially with international scientific databases. It was found that only a limited number of solutions provide full API support for verifying data on publications, patents, and other results of scientific activity.

In addition, compatibility issues between various assessment systems, including within one state, were identified, which complicates the implementation of uniform standards and unified approaches. Several studies note the need to create a reference architecture - a universal template based on which it is possible to design flexible and adaptive expert platforms.

Critical comments and limitations of existing solutions

Despite the high degree of elaboration of individual components, most systems are still at the prototype or pilot implementation stage. Common limitations are fragmentary architectures, weak automation of processes, low reproducibility of expert assessments, as well as the lack of tools for interpreting results based on the principles of Explainable AI.

Many proposed solutions are not accompanied by sufficient empirical validation. This complicates an objective assessment of their effectiveness and applicability in real conditions, especially in public scientific management systems.

Current trends and promising areas

Based on the analysis, several key trends can be identified:

- Active implementation of hybrid systems that combine expert assessments with AI algorithms;

- Growing interest in Explainable AI in decision-making tasks in the scientific field;

- The emergence of distributed models based on blockchain to ensure transparency and traceability of procedures;

- Development of digital platforms with the ability to customize to the specifics of various grant competitions and scientific programs.

Conclusion. The evaluation of scientific projects is evolving from traditional expert-based approaches towards more intelligent, automated, and transparent systems. This review has outlined a wide range of architectural solutions, AI-driven methods, and decision-support algorithms applied to the expert assessment process. Modular and distributed architectures, often enhanced with cloud and blockchain technologies, allow for better scalability, traceability, and collaboration among stakeholders. Methods such as fuzzy logic, multi-criteria analysis, and genetic algorithms address the complexity and uncertainty inherent in research evaluation, while natural language processing and machine learning streamline the analysis of unstructured data.

Despite promising developments, most current systems remain in experimental or pilot stages, facing challenges related to standardization, integration, and explainability. Future research should focus on building interoperable, customizable platforms that combine expert knowledge with transparent AI algorithms and provide measurable improvements in the efficiency and fairness of the evaluation process. The emergence of explainable AI and integration with international data infrastructures will play a key role in the next generation of intelligent evaluation systems for scientific and technical projects.

Acknowledgements. *This research has been funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No.BR28713385 “Development of an intelligent system of expertise and evaluation of scientific, scientific and technical projects”).*

Литература

1. Концепции развития высшего образования и науки в Республике Казахстан на 2023 – 2029 годы. -2023. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000248. -Дата обращения: 20.06.2025.

2. Мутанов Г.М., Есенгалиева Ж.С. Метод оценки инновационности и конкурентоспособности инновационных проектов //Фундаментальные исследования. -2012. -№ 3. - С.712-717 ISSN 1812-7339.

3. Yu Z., Cheng W., Lin L. Design of remote expert evaluation system in remote mountainous area based on cloud service platform//Smart Cities.-2019.-Vol.2(3).-P.359-370. DOI 10.3390/smartcities2030022.

4. Xu X., et al. The blockchain as a software connector // 2016 13th Working IEEE/IFIP Conference on Software Architecture (WICSA). -2016. -P.182-191. DOI 10.1109/WICSA.2016.21.

5. Zyskind G., et al. Decentralizing privacy: Using blockchain to protect personal data //2015 IEEE security and privacy workshops. -2015. -P. 180-184. DOI 10.1109/SPW.2015.27.

6. Jordan M. I. Mitchell T. M. Machine learning: Trends, perspectives, and prospects //Science. -2015. -Vol.349(8245). -P.255-260. DOI 10.1126/science.aaa8415.

7. Fabbri A.R., et al. A large-scale multi-document summarization dataset and abstractive hierarchical model //arXiv preprint arXiv:1906.01749. -2019. DOI 10.48550/arXiv.1906.01749.

8. Lu Y., Dong Y., Charlin L. Multi-XScience: A large-scale dataset for extreme multi-document summarization of scientific articles//Association for Computational Linguistics. -2020. -P.8068-8074. DOI: 10.18653/v1/2020.emnlp-main.648.

9. Akhmetov I., Gelbukh A., Mussabayev R. Greedy optimization method for extractive

summarization of scientific articles //IEEE Access. -2021. -Vol.9. -P.168141-168153. DOI 10.1109/ACCESS.2021.3136302.

10. Zhao K., Wang Q. A review expert recommendation model based on knowledge graph embedding //5th International Conference on Computer Information Science and Application Technology (CISAT 2022). - 2022. -Vol.12451. -P.452-457. DOI 10.1117/12.2656551.

11. Verma S., et al. Scholarly knowledge graphs through structuring scholarly communication: a review //Complex & intelligent systems. -2023. -Vol.9(1). -P.1059-1095. DOI 10.1007/s40747-022-00806-6.

12. Rahdari B., Brusilovsky P. Building a Knowledge Graph for Recommending Experts // Conference: 1st International Workshop on Challenges and Experiences from Data Integration to Knowledge Graphs. -2019. -Vol 2512:3.

13. Kamat O., et al. Plagiarism Detection Using Machine Learning //arXiv preprint. -2024: arXiv:2412.06241. DOI 10.48550/arXiv.2412.06241.

14. Sabieva A., et al. Survey on the legal question answering problem //Записки научных семинаров ПОМИ. -2024. -Т.5(1). -P.194-213. DOI 10.48550/arXiv.2110.07333.

15. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning //Nature. -2015. -Vol. 521 (7553). -P.436-444. DOI 10.1038/nature14539.

16. Shikimic V., Radovanović S. Machine learning in scientific grant review: algorithmically predicting project efficiency in high energy physics //European Journal for Philosophy of Science. -2022. -Vol.12: 50. DOI 10.1007/s13194-022-00478-6.

17. de Souza D. G. B., et al. MCDM-based R&D project selection: A systematic literature review //Sustainability. -2021. -Vol.13(21). - P.11626. DOI 10.3390/su132111626.

18. Deng H., Wibowo S. Intelligent Decision Support for Evaluating and Selecting Information Systems Projects //Engineering Letters. -2008. -Vol.16(3). DOI 10.1063/1.3078128.

19. Toloo M., Mirbolouki M. A new project selection method using data envelopment analysis //Computers & industrial engineering. -2019. -Vol.138:106119. DOI 10.1016/j.cie.2019.106119.

20. Liao H., Ren Z., Fang R. A Deng-entropy-based evidential reasoning approach for multi-expert multi-criterion decision-making with uncertainty //International Journal of Computational Intelligence Systems. -2020. -Vol.13(1). -P.1281-1294. DOI 10.2991/ijcis.d.200814.001.

21. Charisis V., Hadjidimitriou S., Hadjileontiadis L.J. Fiseval. A novel project evaluation approach using fuzzy logic: The paradigm of the i-Treasures project //Expert Systems with Applications. -2022. -Vol. 202: 117260. DOI 10.1016/j.eswa.2022.117260.

22. Doskéocil R. Fuzzy logic: An instrument for the evaluation of project status //Revista de Metodos Cuantitativos para la Economia y la Empresa. -2015. -Vol.19. -P.5-23. ISSN 1886-516X.

23. Wen J., Zeng P. Research on the construction of a sustainable scientific research capability evaluation model for university teachers based on the TS fuzzy neural network //PloS one. -2025. -Vol. 20(2): e0313608. DOI 10.1371/journal.pone.0313608.

24. Granja-Correia J. et al. A Fuzzy Approach to Project Success: Measuring What Matters //arXiv preprint arXiv:2507.12653. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2507.12653.

25. Goldberg D. E. Genetic and evolutionary algorithms come of age //Communications of the ACM. -1994. -Vol.37(3). -P.113-120.

26. Есенгалиева Ж.С. Разработка генетического алгоритма в контексте оценки научно-инновационных проектов//ВЕСТНИК КазНУ. -2013. -Т.3(78). - С.40-47.

27. Namazi M., et al. A new strategic approach for R&D project portfolio selection using efficiency-uncertainty maps //Benchmarking: An International Journal. -2023. -Vol.30(10). -P.4193-4220. DOI 10.1108/BIJ-02-2022-0129.

28. Liu O., et al. An intelligent decision support approach for reviewer assignment in R&D project selection //Computers in Industry. -2016. -Vol.76. -P.1-10. DOI 10.1016/j.compind.2015.11.001.

References

1. Koncepciya razvitiya vysshego obrazovaniya i nauki v Respublike Kazahstan na 2023 - 2029 gody. -2023. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000248. -Date of access: 20.06.2025. [in Russian]

2. Mutanov G.M. Esengalieva ZH.S. Metod ocenki innovacionnosti i konkurentosposobnosti innovacionnyh proektov//Fundamental' nye issledovaniya. -2012. -№3. -S.712-717. ISSN 1812-7339. [in Russian]

3. Yu Z., Cheng W., Lin L. Design of remote expert evaluation system in remote mountainous area based on cloud service platform//Smart Cities. -2019. -Vol.2(3). -P.359-370. DOI 10.3390/smartcities2030022.

4. Xu X., et al. The blockchain as a software connector // 2016 13th Working IEEE/IFIP Conference on Software Architecture (WICSA). -2016. -P.182-191. DOI 10.1109/WICSA.2016.21.

5. Zyskind G., et al. Decentralizing privacy: Using blockchain to protect personal data //2015 IEEE security and privacy workshops. -2015. -P. 180-184. DOI 10.1109/SPW.2015.27.

6. Jordan M. I. Mitchell T. M. Machine learning: Trends, perspectives, and prospects //Science. -2015. -Vol.349(8245). -P.255-260. DOI 10.1126/science.aaa8415.

7. Fabbri A.R., et al. A large-scale multi-document summarization dataset and abstractive hierarchical model //arXiv preprint arXiv:1906.01749. -2019. DOI 10.48550/arXiv.1906.01749.

8. Lu Y., Dong Y., Charlin L. Multi-XScience: A large-scale dataset for extreme multi-document summarization of scientific articles//Association for Computational Linguistics. -2020. -P.8068-8074. DOI: 10.18653/v1/2020.emnlp-main.648.

9. Akhmetov I., Gelbukh A., Mussabayev R. Greedy optimization method for extractive summarization of scientific articles //IEEE Access. -2021. -Vol.9. -P.168141-168153. DOI 10.1109/ACCESS.2021.3136302.

10. Zhao K., Wang Q. A review expert recommendation model based on knowledge graph embedding //5th International Conference on Computer Information Science and Application Technology (CISAT 2022). - 2022. -Vol.12451. -P.452-457. DOI 10.1117/12.2656551.

11. Verma S., et al. Scholarly knowledge graphs through structuring scholarly communication: a review //Complex & intelligent systems. -2023. -Vol.9(1). -P.1059-1095. DOI 10.1007/s40747-022-00806-6.

12. Rahdari B., Brusilovsky P. Building a Knowledge Graph for Recommending Experts // Conference: 1st International Workshop on Challenges and Experiences from Data Integration to Knowledge Graphs. -2019. -Vol 2512:3.

13. Kamat O., et al. Plagiarism Detection Using Machine Learning //arXiv preprint. -2024: arXiv:2412.06241. DOI 10.48550/arXiv.2412.06241

14. Sabieva A., et al. Survey on the legal question answering problem //Записки научных семинаров ПОМИ. -2024. -T.5(1). -P.194-213. DOI 10.48550/arXiv.2110.07333.

15. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning //Nature. -2015. -Vol. 521 (7553). -P.436-444. DOI 10.1038/nature14539.

16. Shikimic V., Radovanović S. Machine learning in scientific grant review: algorithmically predicting project efficiency in high energy physics //European Journal for Philosophy of Science. -2022. -Vol.12: 50. DOI 10.1007/s13194-022-00478-6.

17. de Souza D. G. B., et al. MCDM-based R&D project selection: A systematic literature review //Sustainability. -2021. -Vol.13(21). -P.11626. DOI 10.3390/su132111626.

18. Deng H., Wibowo S. Intelligent Decision Support for Evaluating and Selecting Information Systems Projects //Engineering Letters. -2008. -Vol.16(3). DOI 10.1063/1.3078128.

19. Toloo M., Mirbolouki M. A new project selection method using data envelopment analysis //Computers & industrial engineering. -2019. -Vol.138:106119. DOI 10.1016/j.cie.2019.106119.

20. Liao H., Ren Z., Fang R. A Deng-entropy-based evidential reasoning approach for multi-expert multi-criterion decision-making with uncertainty //International Journal of Computational Intelligence Systems. -2020. -Vol.13(1). -P.1281-1294. DOI 10.2991/ijcis.d.200814.001.

21. Charisis V., Hadjidimitriou S., Hadjileontiadis L.J. Fiseval. A novel project evaluation approach using fuzzy logic: The paradigm of the i-Treasures project //Expert Systems with Applications. -2022. -Vol. 202: 117260. DOI 10.1016/j.eswa.2022.117260.

22. Doskéocil R. Fuzzy logic: An instrument for the evaluation of project status //Revista de Metodos Cuantitativos para la Economia y la Empresa. -2015. -Vol.19. -P.5-23. ISSN 1886-516X.

23. Wen J., Zeng P. Research on the construction of a sustainable scientific research capability evaluation model for university teachers based on the TS fuzzy neural network //PloS one. -2025. -Vol. 20(2): e0313608. DOI 10.1371/journal.pone.0313608.

24. Granja-Correia J. et al. A Fuzzy Approach to Project Success: Measuring What Matters //arXiv preprint arXiv:2507.12653. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2507.12653.

25. Goldberg D. E. Genetic and evolutionary algorithms come of age //Communications of the ACM. -1994. -Vol.37(3). -P.113-120.

26. Esengalieva Zh.S. Razrabotka geneticheskogo algoritma v kontekste ocenki nauchno-innovacionnyh proektov//Vestnik KazNU. -2013. -T.3(78). -C.40–47. ISSN 15630285 [in Russian]

27. Namazi M., et al. A new strategic approach for R&D project portfolio selection using efficiency-uncertainty maps //Benchmarking: An International Journal. -2023. -Vol.30(10). -P.4193-4220. DOI 10.1108/BIJ-02-2022-0129.

28. Liu O., et al. An intelligent decision support approach for reviewer assignment in R&D project selection //Computers in Industry. -2016. -Vol.76. -P.1-10. DOI 10.1016/j.compind.2015.11.001.

Information about the authors

Mutanov G.M. - Doctor of Technical Sciences, Professor, National Academy of Science of the Republic of Kazakhstan, Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan, e-mail: galimkairmutanov@gmail.com;

Amanzholova S.T. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Astana IT University, Astana, Kazakhstan, e-mail: s.Amanzholova@astanait.edu.kz;

Ussatova O.A. - PhD, Associate Professor, Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan, e-mail: olgaussatova@gmail.com;

Aldasheva L.S. - Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Astana IT University, Astana, Kazakhstan, e-mail: Laura.Aldasheva@astanait.edu.kz;

Amirova A.S. - PhD, assistant professor, Astana IT University, Astana, Kazakhstan, e-mail: akzhibek.amirova@astanait.edu.kz.

Сведения об авторах

Мутанов Г.М. - доктор технических наук, профессор, Национальная академия наук Республики Казахстан, Институт информационных и вычислительных технологий, Алматы, Казахстан, e-mail: galimkairmutanov@gmail.com;

Аманжолова С.Т. - кандидат технических наук, ассоц. профессор, Astana IT University, Астана, Казахстан, e-mail: S.Amanzholova@astanait.edu.kz;

Усатова О.А. - PhD, ассоц. профессор, Институт информационных и вычислительных технологий, Алматы, Казахстан, e-mail: olgaussatova@gmail.com;

Алдашева Л.С. - кандидат технических наук, ассистент профессор, Astana IT University, Астана, Казахстан, e-mail: Laura.Aldasheva@astanait.edu.kz;

Амирова А.С.- PhD, ассистент профессор, Astana IT University, Астана, Казахстан, e-mail: akzhibek.amirova@astanait.edu.kz.

МРНТИ 81.93.29 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1243**

МӘТІНДІК ДЕРЕКТЕРДЕ КРИМИНАЛИСТИКАЛЫҚ ТАЛДАУ ЖҮРГІЗУГЕ АРНАЛҒАН ТЕРЕҢ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІ МОДЕЛІН ҚҰРУ

[1]А.А. Құттыбек, [1]Н.М. Казиева, [2]А.С. Амирова, [3]Д.А. Рюмин

[1]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан,
[2]Astana IT University, Астана, Қазақстан,
[3]Ресей Ғылыми Академиясы, Федералды ғылыми - зерттеу орталығы, Санкт-Петербург, Ресей

Корреспондент-автор: azhar.kuttybek@astanait.edu.kz

Осы мақалада криминалистика аясында мәтіндік деректерді интеллектуалды талдау мен автоматты зерттеу үшін жасанды интеллект және терең нейрондық желілерді пайдалану мәселесі қарастырылды. Бүгінгі таңда ғаламтордағы деректердің шамадан тыс көбеюі мен әлеуметтік желілерде пайда болатын ақпараттардың тез таралуы құқық қорғау органдары үшін көптеген міндеттер тудырып отыр. Сот сараптамалары мен тергеулер, жұмыс барысында дәлелдер құрамында мәтіндік материалдар көп кездеседі, сол себепті деректерді автоматты өңдеу және сот сараптамасы ретінде бағалау, өзекті мәселелердің бірі болып саналады.

Ғылыми мақаланың мақсаты - мәтіндік деректерден агрессивті және құқық бұзушылық белгілерін, экстремистік негізіндегі мазмұндарды анықтай алатын терең нейрондық желі моделін құру. Мақалада Attention және LSTM - (Ұзақ мерзімді жад) архитектурасының негізінде құрылған үлгі ұсынылады. Осы тәсіл қазақ тіліндегі мәтіндердің семантикалық байланысын, контекстік байланыстарын және эмоционалды реңкін тиімді сараптауға мүмкіндік береді. Ақпараттарды өңдеу барысында мәтіндер токенизацияланып, артық белгілердің тазартылады. Сонымен қатар, TF-IDF Word2Vec әдістерінің көмегімен векторлық түрлендіру жүргізіледі. Осындай көрсеткіш классикалық әдістерден жоғары екенін көрсетеді.

Криминалистикалық сараптама барысында, ұсынылған әдістеме деректерді тез өңдеуге және дәл өңдеуге мүмкіндік береді. Қылмыстық істерді тергеу процессін автоматтандыруға, сот сарапшыларының жұмыстарын оңайлатуға, сондай-ақ адам факторына тәуелділікті азайтуға бағытталған, маңызды қадамдардың бірі болып табылады. Осы мақала нәтижелері болашақта жасанды интеллектуалды сараптау системасын дамытуға, қазақ тіліндегі криминалистикалық ақпараттар қорын ұлғайтуға негіз болады.

Түйін сөздер: мәтіндік деректер, криминалистика, жасанды интеллект, терең оқыту, LSTM, Attention, лингивистикалық сараптама.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ГЛУБОКОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КРИМИНАЛИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ

[1]А.А. Құттыбек, [1]Н.М. Казиева, [2]А.С. Амирова, [3]Д.А. Рюмин

[1]Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
[2]Astana IT University, Астана, Казахстан,
[3]Российская академия наук, Федеральный научно-исследовательский центр, Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: azhar.kuttybek@astanait.edu.kz

В данной статье рассматривается применение искусственного интеллекта и глубоких нейронных сетей для интеллектуального анализа и автоматического изучения текстовых данных в области криминалистики. Сегодня чрезмерный рост объёма данных в интернете и быстрое распространение информации в социальных сетях создают множество проблем для правоохранительных органов. В криминалистических экспертизах и расследованиях доказательствами зачастую являются текстовые материалы, поэтому автоматическая обработка и оценка данных в рамках криминалистического анализа являются одной из наиболее актуальных задач.

Цель научной статьи – создание модели глубокой нейронной сети, способной выявлять агрессивные и криминальные признаки, а также экстремистский контент в текстовых данных. В статье представлена модель, основанная на архитектурах Attention и LSTM. Данный подход позволяет эффективно анализировать семантические связи, контекстные связи и эмоциональную окраску текстов на казахском языке. В процессе обработки информации тексты тонизируются и очищаются от избыточных признаков. Кроме того, выполняется векторное преобразование с использованием методов TF-IDF Word2Vec. Этот показатель свидетельствует о её превосходстве над классическими методами.

В области криминалистического анализа предлагаемая методология позволяет осуществлять быструю и точную обработку данных. Это один из важных шагов, направленных на автоматизацию процесса расследования уголовных дел, упрощение работы экспертов-криминалистов и снижение зависимости от человеческого фактора. Результаты данной статьи послужат основой для дальнейшего развития систем анализа на основе искусственного интеллекта и увеличения объема криминалистической информации на казахском языке.

Ключевые слова: текстовые данные, криминалистика, искусственный интеллект, глубокое обучение, LSTM, внимание, лингвистический анализ.

DEVELOPMENT OF A DEEP NEURAL NETWORK MODEL FOR FORENSIC ANALYSIS ON TEXTUAL DATA

[1]A.A. Kuttybek, [1]N.M. Kaziyeva, [2]A.S. Amirova, [3]D.A. Ryumin

[1]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[2]Astana IT University, Astana, Kazakhstan,
[3]Russian Academy of Sciences, Federal Research Center, St. Petersburg, Russia,
e-mail: azhar.kuttybek@astanait.edu.kz

This article considers the use of artificial intelligence and deep neural networks for intelligent analysis and automatic study of text data in the field of forensics. Today, the excessive growth of data on the Internet and the rapid spread of information appearing in social networks pose many challenges for law enforcement agencies. In forensic examinations and investigations, evidence often includes text materials, so automatic data processing and evaluation as a forensic analysis are one of the most pressing issues.

The purpose of the scientific article is to create a deep neural network model that can identify aggressive and criminal signs, extremist content from text data. The article presents a model based on the Attention and LSTM architectures. This approach allows for effective analysis of semantic connections, contextual connections and emotional tone of texts in the Kazakh language. During information processing, texts are tokenized and cleared of redundant features. In addition, vector transformation is performed using the TF-IDF and Word2Vec methods. This indicator indicates that it is superior to classical methods.

In the field of forensic analysis, the proposed methodology allows for fast and accurate data processing. It is one of the important steps aimed at automating the process of investigating criminal cases, simplifying the work of forensic experts, and reducing dependence on the human factor. The results of this article will serve as a basis for the future development of artificial intelligence analysis systems and increasing the stock of forensic information in the Kazakh language.

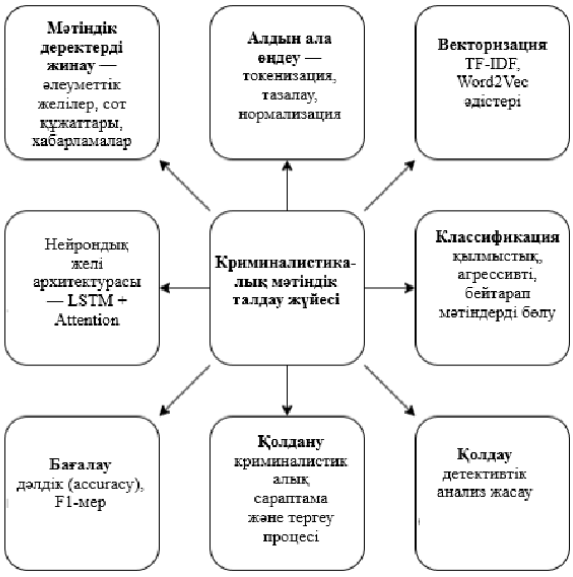
Keywords: text data, forensics, artificial intelligence, deep learning, LSTM, Attention, linguistic analysis.

Кіріспе. Криминалистикалық мәтіндік талдау - құқықтық сипаттағы деректерді интеллектуалды өңдеу мен жасырын заң бұзушылық белгілерін анықтауға бағытталған зерттеу саласы. Осындай заң бұзушылық мәтіндегі материалдарға: тергеу хаттамалары, әлеуметтік желілер-

ге жазған жазбалары мен куәгердің хабарламаларын жатқызуға болады. Терең нейрондық желілер арқылы мәтіндік деректерге талдау жүйелері, деректердің мағынасын семантикалық негізде түсініп, агрессивті, қорқыту немесе экстремисстік сипаттағы сөз тіркестерін автоматты түрде анықтай алады.

Криминалистикалық тұрғыдан қарағанда, жасырын қылмыстық ниетті мәтіндерді, қорқыту белгісінің болуы мен жалған ақпараттарды анықтау. Мысалы, кез келген мәтінде пайдаланылған лексикалық құрылым мен синтаксистік байланыстар, заң бұзушылық әрекеттің басталатынын және қылмыстық сипаты бар іс-әрекетке алып келетінін көрсетуі мүмкін. Осындай жағдайларда, терең оқыту үлгісі, дәлірек айтқанда LSTM және Attention механизмдері, мәтінді анализ жасау арқылы, қауіпті мәтінді дәл анықтай алады [1].

Осындай әдістердің тиімділігі олардың ауқымды көлемдегі мәтіндерден үйрену қабілетінде. Мәтіндерді талдай отырып, жүйе ескі деректерден алынған, жаңа хабарламалардағы ұқсас белгілерді автоматты түрде анықтайды. Криминалистикалық сарапшыларға осы жүйе, уақыт үнемдеуге, сонымен қатар материалдарды объективті бағалауға мүмкіндік береді [2]. Терең нейрондық желілерге негізделген үлгі, мәтіндік деректерді интелектуалды сараптаудың ең тиімді құралы болып табылады, сонымен қатар, заманауи криминалистикада қылмыстық сипаттағы мінез – құлықтардың белгілерін автоматты анықтауда маңызды рөл атқарады [3-5].



1-сурет. Криминалистикалық мәтінді талдау диаграммасы

Контексттік деректерді қылмыстық типте анализ жасау барысында, ***1-суретте*** ең маңызды параметрлердің бірі - ғаламтор кеңістігінде заң бұзушылық сипатындағы хабарламаларды анықтау, сонымен қатар мәтіндердің маңыздылығын анықтау болып табылады. Осындай деректерге жалған ақпараттарды тарату, абыройға нұқсан келтіру, бопсалау, қорқыту немесе жалған айыппұл салу сынды ақпараттар жатады [6].

Көптеген ситуацияларда криминалистикалық сипаттағы мәтіндер ашық интернет көздерінде, дәлірек айтқанда әлеуметтік желілер мен форумдарда буркемеленген түрде таралады. Осындай контентті анықтау үшін терең оқыту модельдері -LSTM және Attention архитектуралары - деректердің семантикалық құрылымын анализ жасап, мәтіндік байланыстар арқылы күмәнді деректерді таба алады.

Заң бұзушылық немесе құқық бұзушылық белгісі бар деректерде жиі табылатын ерекшеліктер - агрессивті тілді құрылымдар, бопсалау мәніндегі тіркестер, субъективті лексика және эмоция болып табылады. Осы белгілерді динамикалық түрде анықтау үшін модель (үлгі) алдын-ала үйретілген көп көлемдегі мәтіндер жиынтындағы (corpus) мысалдарды пайдаланады.

Сонымен қатар, қылмыстық талдауда маңызды назар аудартатын аспектілердің бірі - өз атын жасыратын авторлардың (анонимді) жазбасы және жалған аккаунттар арқылы жарияланған мәтіндерді атап айтуға болады.

Терең нейрондық желілер мұндай контенттің лингвистикалық маңыздылығын сараптау арқылы авторлық стильді талдауға және мәтіннің түп нұсқалығын бағалауға мүмкіндік береді [7-8].

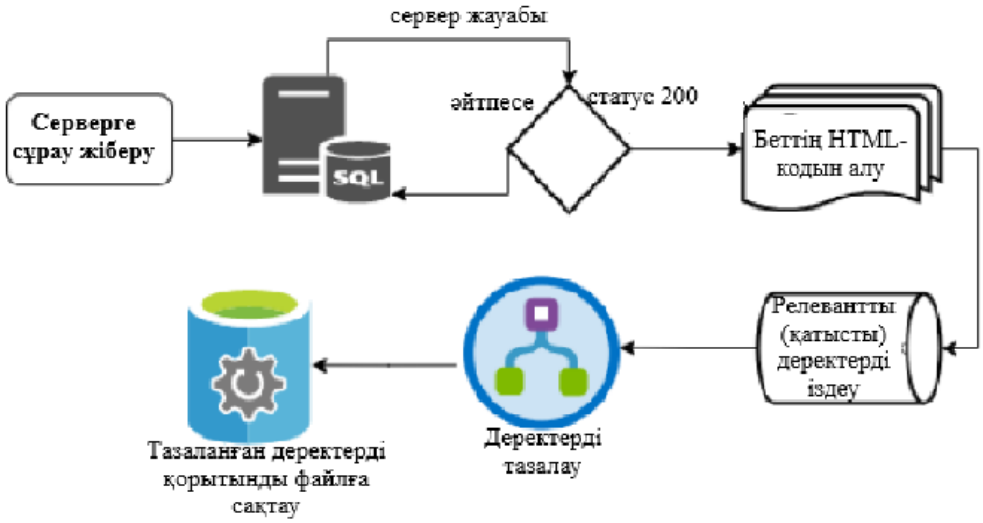
Жоғарыдағы көрсетілген диаграмма арқылы құқық қорғау органдыраның мүшелері ғаламтордағы ақпараттардың арасынан нақты қауіп төндіретін немесе заң бұзушылыққа итермелейтін контентті қысқа мерзім уақыт аралығында анықтай алады. Осындай жүйе дәстүрлі талдау әдістерімен салыстырғанда тез, әрі нақты және үлкен көлемдегі деректерді қамти алады.

Материалдар мен әдістер. Контекстік деректердің үлкен және шексіз көлемі және оның динамикалық сипаты дәстүрлі талдау әдістерін тиімсіз етеді. Сондықтан терең оқыту және табиғи тілді өңдеу (NLP) әдістеріне негізделген автоматтандырылған жүйелерді пайдалану барған сайын маңызды болып келеді [9].

Терең оқыту желілері мәтін мазмұнын талдау арқылы жасырын агрессивті, шантаж немесе экстремистік мазмұны бар сөз тіркестерін анықтауға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл адамның эмоционалдық жағдайын немесе ықтимал қауіпті ниеттерін автоматты түрде анықтауға бағытталған. Бұл бөлімде криминалистикалық мәтін деректерін өңдеудің негізгі кезеңдері талқыланады: деректерді жинау, өңдеу және ерекшеліктерді анықтау **(2-сурет).**

Деректерді жинау. Жоғары сапалы және теңгерімді деректер жиынтығын жасау криминалистикалық мәтінді талдауда маңызды рөл атқарады. Бұл деректер жиынтығы сотмедициналық сараптама материалдарынан, әлеуметтік желілерден, хабарламалардан және ашық интернет көздерінен жиналады [10-12].

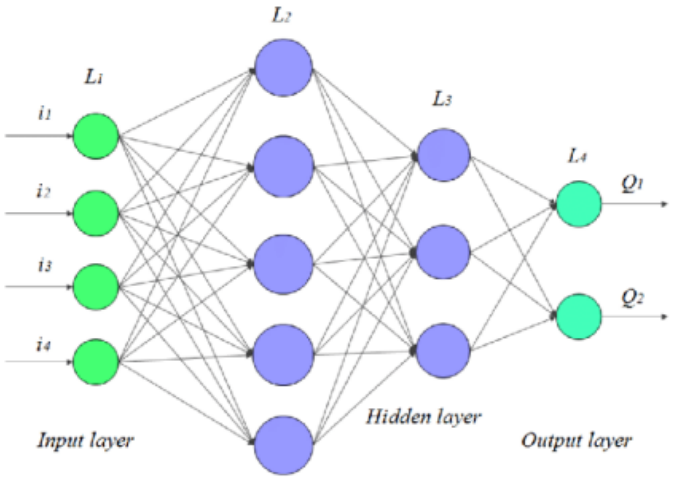
Жиналған деректер алдын ала сүзіледі және тек криминалистикалық маңызы бар жазбалар таңдалады. Мысалы, қылмысты ынталандыратын сөз тіркестері, қауіпті мағынасы бар сөздер, жалған ақпарат немесе агрессивті пікірлер. Сонымен қатар, мәтінді топтастыру үшін TF-IDF, Word2Vec немесе FastText әдістері қолданылады.



2-сурет. Мәтіндік деректерді жинау және алдын ала өңдеу сызбасы

Бұл әдістер мәтін мазмұнын сандық векторларға түрлендіруге және оларды нейрондық желі моделіне беруге мүмкіндік береді. Деректерді жинау кезеңінің сапасы модельдің жалпы дәлдігіне тікелей әсер етеді [13].

Құқық бұзушылық деректерде жиі кездесетін ерекшелік - агрессия және бопсалау, қорқыту немесе манипуляция сипатындағы сөз тіркестері мен контекстік мағыналар. Терең нейрондық желілер (Deep Neural Networks - DNN) осындай мәтіндерді көп деңгейлі өңдеу арқылы анализ жасап, мағыналық ұқсастығын немесе қауіптілігін бағалай алады. Терең нейрондық желілер – бұл бірнеше қабаттан тұратын машиналық оқыту алгоритмдері, олар күрделі және абстрактілі заңдылықтарды анықтау үшін мәліметтерді көпдеңгейлі өңдеуге мүмкіндік береді [14-15]. Көп деңгейілі желілер мәтіндік деректердің семантикалық және синтаксистік құрылымдарын үйренуге және қылмыстық сипаттағы жасырын байланыстарды іздеуге қабілетті. Қарапайым терең нейрондық желі архитектурасы үш негізгі қабаттан тұрады (***3-сурет***): кіріс қабаты (Input Layer), жасырын қабаттар (Hidden Layers) және шығыс қабаты (Output Layer). Кіріс қабатында дерек вектор түрінде беріледі, жасырын қабаттарда белсендіру функциялары (ReLU, tanh) арқылы ақпарат түрленеді, ал шығыс қабаты нәтиже ретінде мәтіннің криминалистикалық категориясына мысалы, “агрессивті”, “бейтарап”, “қорқыту” сынды сөз тіркестерін кіріктіруге болады.



3-сурет. Қарапайым терең нейрондық желі архитектурасының құрылымы

Мәтіндік деректерді жіктеу үшін LSTM нейрондық желілерін пайдалану: LSTM - тізбектерді танитын және уақытқа тәуелді деректерді, яғни сөйлемдер мен мәтіндер арасындағы логикалық қатынастарды сақтауға арналған қайталанатын нейрондық желінің (RNN) бір түрі [16].

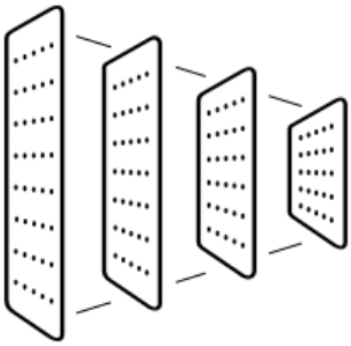
LSTM моделінің басты артықшылығы - ол контекстті ұзақ уақыт бойы есте сақтай алады және кейінгі талдауда алдыңғы сөздердің мағынасын пайдалана алады. Бұл қасиет криминалистикалық мәтінді талдауда әсіресе маңызды, себебі қылмыс белгілері көбінесе мәтіннің жалпы мағынасына байланысты.

Мысалды қолданыңыз: егер мәтінде «Мен сені табамын, сен өкінесің» сияқты сөз тіркестері болса, LSTM желісі мұндай тізбекті «қорқыту» деп жіктей алады. Бұл модель тек жеке сөздерді ғана емес, сонымен қатар олардың арасындағы уақытша қатынастарды да талдайды.

Модельдің соңғы қабаты мәтінді бірнеше класқа бөлетін softmax функциясын пайдаланады: бейтарап, агрессивті, қылмыстық және ұқсас.

4-суретте көрсетілгендей, әрбір келесі қабаттағы нейрондар саны біртіндеп азаяды, ал ақпа-

рат жоғары деңгейлі семантикалық ерекшеліктерге айналады. Бұл процесс модельге күрделі тілдік құрылымдарды тануға және жасырын мағыналарды анықтауға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл криминалистикалық мәтін талдауын дәстүрлі әдістерге қарағанда дәлірек және тиімдірек жүргізуге мүмкіндік береді.



4-сурет. LSTM негізіндегі мәтін классификациялау желісінің визуалды құрылымы

Осы мақалада ұсынылған терең нейрондық желі (DNN) қылмыстық процесстерде мәтін талдауы үшін қолданылады. Бұл желінің көп қабатты архитектурасынан тұрады, әрбір қабат белгілі бір деңгейде семантикалық ақпаратты өңдеуге арналған.

Модельдің құрылымы келесі принципке негізделген: әрбір келесі қабаттағы нейрондар саны алдыңғысына қарағанда аз, яғни желі иерархиялық деңгейлерді пайдаланып маңызды деректер ерекшеліктерін алады. Бұл тәсіл артық ақпаратты азайтады және тиімді оқытуды қамтамасыз етеді.

Бірінші қабат вектормен түрлендірілген мәтінмен беріледі. Мысалы, әрбір сөйлем Word2Vec немесе TF-IDF әдістерін қолдана отырып, 784 өлшемді вектор ретінде ұсынылады. Бұл векторлар кіріс қабатына беріледі, ал кейінгі қабаттар - тығыз қабаттар - деректер арасындағы күрделі қатынастарды үйренеді.

Нәтижелер және талқылау. Модель келесідей жұмыс істейді: бірінші қабат негізгі ерекшеліктерді (лексикалық және синтаксистік құрылымдарды) бөліп алады. Ортаңғы қабаттар семантикалық және контекстік тәуелділіктерді өңдейді. Соңғы қабат мәтінді белгілі бір санатқа жіктейді: агрессивті, қауіпті немесе бейтарап [16-17]. Бұл архитектураны пайдалану есептеу шығындарын азайтады, оқыту жылдамдығын арттырады және модельдің дәлдігін тұрақтандырады. Сонымен қатар, төменгі қабаттар қарапайым ерекшеліктерді үйренсе, жоғарғы қабаттар оларды біріктіріп, күрделі семантикалық заңдылықтарды анықтайды.

Базаға енгізілетін мәтіннің математикалық сипаттамасы төмендегідей формуламен есептеліп төмендегі жүйеге енгізілетін болады:

$$Z = w_1 x_1 + w_2 x_2 + \ldots + w_n x_n \qquad (1)$$

Модельдің бір қабатындағы есептеу формуласы:

мұндағы:

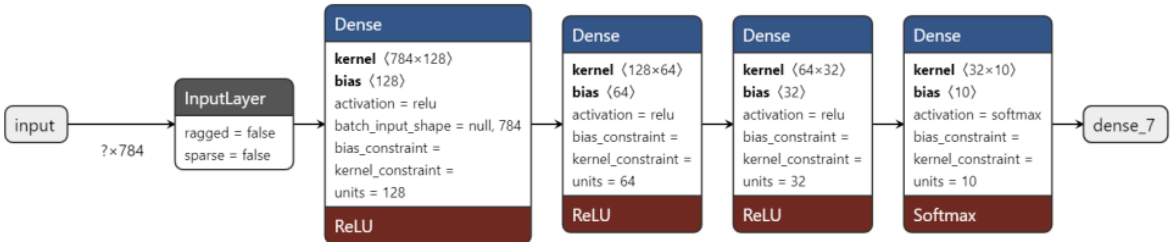
Z - нәтижелік вектор,

w - кіріс мәтіндерінің жиыны,

x - енгізілетін деректер.

5-суретте ендірілген нейрондық желінің графикалық көрінісі көрсетілген. Кіріс қабаты (Input Layer) input_length = 784 өлшемді векторлар жиынтығын жасайды және оны бірінші толық қосылған қабатқа (Dense Layer) береді. Әрбір келесі қабатта нейрондар саны азаяды, бұл желіге маңызды ерекшеліктерді алуға және шығысты соңғы қабатқа беруге мүмкіндік береді. Соңғы қабат бір нейроннан тұрады және softmax функциясын пайдаланып болжам жасайды: егер нейрон белсенді болса, мәтін бірінші санатқа жа-

тады (мысалы, қылмыстық мәтін), ал егер ол белсенді емес болса, мәтін екінші санатқа жатады (бейтарап мәтін).



5-сурет. Қарапайым терең нейрондық желінің визуалды моделі

Бұл құрылым терең оқытудың тиімділігін көрсетеді, себебі ол мәтіндік деректердегі күрделі семантикалық қатынастарды зерттеуге және сотмедициналық талдауда дәл жіктеуге мүмкіндік береді.

Қорытынды. Бұл мақала криминалистикалық контексте интеллектуалды мәтінді талдау үшін терең нейрондық желі моделін жасаудың ғылыми және практикалық негізін жасады. Мақсатқа - мәтін мазмұнындағы жасырын қылмыстық ниетті, қорқыту белгілерін және агрессияны автоматты түрде анықтауға - сәтті қол жеткізілді.

Жұмыстың теориялық негізі терең оқыту және табиғи тілді өңдеу (NLP) әдістерімен қалыптасты. LSTM және Attention архитектураларының үйлесімі жүйеге мәтіннің семантикалық қатынастарын, контекстік мағынасын және эмоционалды реңкін тиімді талдауға мүмкіндік берді. Бұл тәсіл дәстүрлі статистикалық модельдермен салыстырғанда дәлдікті арттырды және жалған немесе бейтарап мәтіндерді қылмыстық мазмұннан сенімді түрде ажыратты.

Зерттеу барысында алынған нәтижелер нейрондық желі архитектурасының (Input–Hidden-Output құрылымы) криминалистикалық мәтіндерді автоматты түрде жіктеуде жоғары өнімділік көрсетті. Word2Vec және TF-IDF көмегімен мәтінді векторлау жүйені оқыту процесін үйренуге және контекстті тереңірек түсінуге мүмкіндік береді. Модельді тестілеу нәтижелері ұсынылған жүйе мәтіндерді үш негізгі санатқа - агрессивті, қауіп төндіретін және бейтарап – мазмұндары дәлдікпен жіктей алатынын көрсетеді. Бұл дәстүрлі әдістерден (логистикалық регрессия, SVM) айтарлықтай асып түседі.

Практикалық тұрғыдан алғанда, әзірленген модель криминалистикалық талдау мен құқық қорғау саласында тамаша көмекші бола алады. Бұл әлеуметтік желілердегі және ашық интернет көздеріндегі қауіпті мазмұнды уақтылы анықтауға, сондай-ақ криминалистикалық сараптамаларға дәлелдемелерді дайындауды автоматтандыруға мүмкіндік береді.

Жалпы алғанда, жұмыс криминалистикалық ғылымдағы терең нейрондық желілердің әлеуетін айқын көрсетті. Ұсынылған әдіс ақпараттық қауіпсіздікті, қылмыстың алдын алуды және цифрлық дәлелдемелерді талдау сапасын жақсартуға айтарлықтай үлес қоса алады.

Литература

1. F. Bozyiğit, O. Doğan and D. Kilinç. Categorization of customer complaints in food industry using machine learning approaches// Journal of Intelligent Systems Theory and Applications. -2022.-Vol.5(1). - P.85-91. DOI 10.38016/jista.954098.

2. B. Omarov, S. Narynov, Z. Zhumanov, A. Gumar and M. Khassanova. A skeleton-based approach for campus violence detection// Computers, Materials & Continua. - 2022.-Vol.72(1). - P.315-331. DOI 10.32604/cmc.2022.024566.

3. Бектұров Ш.К. Қазақ тілі: лексика, фонетика,морфология, синтаксис.-Алматы: Атамұра, 2006-336. ISBN 9965-34-371-3.

4. A. Fedorenko, J. Tussupov, M. Sametbayeva, I. Idrissova, and A. Yerimbetova. Development and implementation of a morphological model of Kazakh language// Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. - 2015.- Vol.3(3). - P.69-79.

5. M. Borodin, E. Lisin and W. Strielkowski. Data algorithms for processing and analysis of unstructured text documents// Applied mathematical sciences. - 2014. - Vol.8(25). - P.1213–1222. DOI 10.12988/ams.2014.4125.

6. M. Mowafy, A. Rezk, and H. El-Bakry. An efficient classification model for unstructured text document// American Journal of Computer Science and Information Technology. - 2018.- Vol.6(1):16. DOI 10.21767/2349-3917.100016.

7. Аксенов А.А., Рюмина Е.В., Рюмин Д.А. Метод генерации анимации цифрового аваиара с речевой и невербальной синхронизацией на основе бимодальных данных// Научно-технический вестник Информационных технологий, механики и оптики. -2025-Т.25(4). -С.651-662. DOI 10.17586/2226-1494-2025-25-4-651-662

8. Иванько Д.В., Рюмин Д.А. Автоматический сурдоперевод: обзор нейросеиевых методов распознавания и синтеза звучащей и жестовой речи// Научно-технический вестник Информационных технологий, механики и оптики. - 2025- Т.24(5)-С.669-686. DOI 10.17586/2226-1494-2024-24-5-669-686

9. Kaziyeva N., Madiev A., Aitzhanov S., Kaliyev A., Kuttybek A. Animated biometric QR-codes as an innovative solution in information systems//2025 IEEE 5th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST). -2025. DOI 10.1109/SIST61657.2025.11139180.

10. J. L. Elman. Finding structure in time// Cognitive Science. -1990. - Vol.14(2). - P.179–211. DOI 10.1207/s15516709cog1402_1.

11. H. Schmid. Probabilistic part-of-speech tagging using decision trees// Proceedings of International Conference on New Methods in Language Processing, Manchester, UK. - 1994. - P.44-49. URL: https://www.cis.uni-muenchen.de/~schmid/tools/TreeTagger/data/tree-tagger1.pdf. (accessed 07.11.2025).

12. T. Mikolov, K. Chen, G. Corrado, and J. Dean. Efficient estimation of word representations in vector space. arXiv preprint arXiv:1301.3781.- 2013. DOI 10.48550/arXiv.1301.3781.

13. J. Pennington, R. Socher, and C. D. Manning. GloVe: Global vectors for word representation// Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP). -2014.- P.1532–1543. DOI 10.3115/v1/D14-1162.

14. C. Bishop, Pattern Recognition and Machine Learning. Berlin, Heidelberg: Springer, 2006.-737 s. - P.137–145. ISBN-10: 0-387-31073-8. ISBN-13: 978-0387-31073-2/

15. Sammut, Claude et al. Encyclopedia of Machine Learning and Data Mining. - Springer-2017. DOI 10.1007/978-1-4899-7687-1, ISBN978-1-4899-7685-7

16. D. Hosmer and S. Lemeshow, Applied Logistic Regression: A Self-Learning Text//New York, NY: Springer-Verlag. - 528 s.2013. ISBN 9780470582473

17. T. Hastie, R. Tibshirani, and J. Friedman. The Elements of Statistical Learning. -2017.-Springer. DOI 10.1007/978-0-387-21606-5.

References

1. F. Bozyiğit, O. Doğan and D. Kilinç. Categorization of customer complaints in food industry using

machine learning approaches// Journal of Intelligent Systems Theory and Applications. -2022.-Vol.5(1). - P.85-91. DOI 10.38016/jista.954098.

2. B. Omarov, S. Narynov, Z. Zhumanov, A. Gumar and M. Khassanova. A skeleton-based approach for campus violence detection// Computers, Materials & Continua. - 2022.-Vol.72(1). - P.315-331. DOI 10.32604/cmc.2022.024566.

3. Bektүrov Sh.K. Қазақ tili: leksika, fonetika,morfologija, sintaksis.-Almaty: Atamүra, 2006-336. ISBN 9965-34-371-3. [in Kazakh]

4. Fedorenko A., Tussupov J., Sametbayeva M., Idrissova I., Yerimbetova A.. Development and implementation of a morphological model of Kazakh language// Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. - 2015. - Vol.3(3). - P.69-79.

5. Borodin M., Lisin E. and W. Strielkowski. Data algorithms for processing and analysis of unstructured text documents// Applied mathematical sciences. - 2014. - Vol.8(25). - P.1213–1222. DOI 10.12988/ams.2014.4125.

6. Mowafy M., Rezk A., and H. El-Bakry. An efficient classification model for unstructured text document// American Journal of Computer Science and Information Technology. - 2018.- Vol.6(1):16. DOI 10.21767/2349-3917.100016.

7. Aksenov A.A., Rjumina E.V., Rjumin D.A. Metod generacii animacii cifrovogo avaiara s rechevoj i neverbal’ noj sinhronizaciej na osnove bimodal’ nyh dannyh// Nauchno-tehnicheskij vestnik Informacionnyh tehnologij, mehaniki i optiki. -2025.-T.25(4). -S.651-662. DOI 10.17586/2226-1494-2025-25-4-651-662. [in Russian]

8. Ivan’ ko D.V., Rjumin D.A. Avtomaticheskij surdoperevod: obzor nejroseievyh metodov raspoznavanija i sinteza zvuchashhej i zhestovoj rechi// Nauchno-tehnicheskij vestnik Informacionnyh tehnologij, mehaniki i optiki. - 2025.- T.24(5).- S.669-686. DOI 10.17586/2226-1494-2024-24-5-669-686. [in Russian]

9. Kaziyeva N., Madiev A., Aitzhanov S., Kaliyev A., Kuttybek A. Animated biometric QR-codes as an innovative solution in information systems//2025 IEEE 5th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST). -2025. DOI 10.1109/SIST61657.2025.11139180.

10. J. L. Elman. Finding structure in time// Cognitive Science. -1990. - Vol.14(2). - P.179–211. DOI 10.1207/s15516709cog1402_1.

11. H. Schmid. Probabilistic part-of-speech tagging using decision trees// Proceedings of International Conference on New Methods in Language Processing, Manchester, UK. - 1994. - P.44-49. URL: https: //www.cis.uni-muenchen.de/~schmid/tools/TreeTagger/data/tree-tagger1.pdf. (accessed 07.11.2025).

12. T. Mikolov, K. Chen, G. Corrado, and J. Dean. Efficient estimation of word representations in vector space. arXiv preprint arXiv:1301.3781.- 2013. DOI 10.48550/arXiv.1301.3781.

13. J. Pennington, R. Socher, and C. D. Manning. GloVe: Global vectors for word representation// Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP). -2014.- P. 1532–1543. DOI 10.3115/v1/D14-1162.

14. C. Bishop, Pattern Recognition and Machine Learning. Berlin, Heidelberg: Springer, 2006.-737 s. - P.137–145. ISBN-10: 0-387-31073-8. ISBN -13: 978-0387-31073-2/

15. Sammut, Claude et al. Encyclopedia of Machine Learning and Data Mining.- Springer-2017. DOI 10.1007/978-1-4899-7687-1, ISBN978-1-4899-7685-7

16. D. Hosmer and S. Lemeshow, Applied Logistic Regression: A Self-Learning Text//New York, NY: Springer-Verlag. - 528 s.2013. ISBN 9780470582473

17. T. Hastie, R. Tibshirani, and J. Friedman. The Elements of Statistical Learning. -2017.-Springer. DOI 10.1007/978-0-387-21606-5.

Авторлар туралы мәліметтер

Құттыбек А.А. - докторант 1-ші курс, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: azhara9322@gmail.com;

Казиева Н.М. - PhD докторы, доцент, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: kaziyevanm@gmail.com;

Амирова А.С. - PhD докторы, ассистент - профессор, Astana IT University, Астана, Қазақстан, e-mail: akzhibek.amirova@astanait.edu.kz;

Рюмин Д.А.- кандидат физика-математикалық ғылымдары, доцент Ресей Ғылым Академиясының Федеральды Ғылыми-зерттеу Орталығының ғылыми қызметкері, Санкт-Петербург,Ресей, - e-mail: neweraairesearch@gmail.com.

Information about the Authors

Kuttybek A.A. - 1st-year PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: azhara9322@gmail.com;

Kaziyeva N.M. PhD, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: kaziyevanm@gmail.com;

Amirova A.S. - PhD, Assistant Professor, Astana IT University, Astana, Kazakhstan, e-mail: akzhibek.amirova@astanait.edu.kz;

Ryumin D.A. - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Researcher, Federal Scientific Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia, e-mail: neweraairesearch@gmail.com.

ҒТАМР 20.15.05, 06.52.45 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1330**

QADAM ЦИФРЛЫҚ ПЛАТФОРМАСЫ ШАҒЫН ЖӘНЕ ОРТА БИЗНЕСТІ ТРАНСФОРМАЦИЯЛАУ ҚҰРАЛЫ РЕТІНДЕ

Б.Ғ. Әбілда

Astana International University, Астана қ., Қазақстан

Корреспондент-автор: bauyrzhan.abilda@gmail.com

Бұл мақалада цифрлық платформа дамып келе жатқан цифрлық экономика жағдайында шағын және орта бизнесті (ШОБ) трансформациялаудың негізгі құралы ретінде қарастырылады. Зерттеудің мақсаты-ШОБ-тың цифрлық трансформациясына платформалық тәсілді негіздеу және Қазақстанда бірыңғай цифрлық бизнес экожүйесін құруға бағытталған QADAM цифрлық платформасының тұжырымдамалық моделін әзірлеу. Зерттеудің әдіснамалық негізі жүйелік, экожүйелік және платформалық тәсілдер, сондай-ақ ғылыми басылымдарды жүйелі талдау әдістері, салыстырмалы талдау және тұжырымдамалық модельдеу болып табылады. Мақалада ШОБ-тың цифрлық трансформациясындағы халықаралық және қазақстандық тәжірибе қорытындыланады, кәсіпорындардың цифрлық жетілуіндегі негізгі кедергілер және қолданыстағы цифрлық шешімдердің шектеулері талданады. Нәтижесінде автор цифрлық қызметтерді, аналитикалық және интеллектуалды құралдарды және экожүйелік өзара әрекеттесу механизмдерін біріктіретін QADAM цифрлық платформасының тұжырымдамалық моделін ұсынады. Платформалық тәсілді енгізу ШОБ-тың цифрлық экономикаға кіруіне кедергілерді азайтып, Қазақстандағы бизнес секторының тұрақты трансформациясын қамтамасыз ете алады деген қорытындыға келді.

Түйінді сөздер: сандық платформа, сандық трансформация, шағын және орта бизнес, платформа экономикасы, сандық экожүйе, жасанды интеллект.

ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА QADAM КАК ИНСТРУМЕНТ ТРАНСФОРМАЦИИ МАЛОГО И СРЕДНЕГО БИЗНЕСА

Б.Ғ. Әбілда

Astana International University, Астана, Казахстан,
e-mail: bauyrzhan.abilda@gmail.com

В статье рассматривается цифровая платформа как ключевой инструмент трансформации малого и среднего бизнеса (МСБ) в условиях формирования цифровой экономики. Цель исследования заключается в обосновании платформенного подхода к цифровой трансформации МСБ и разработке концептуальной модели цифровой платформы QADAM, ориентированной на формирование единой цифровой экосистемы бизнеса в Казахстане. Методологической основой исследования послужили системный, экосистемный и платформенный подходы, а также методы систематического анализа научных публикаций, сравнительного анализа и концептуального моделирования. В работе обобщён зарубежный и казахстанский опыт цифровой трансформации МСБ, проанализированы ключевые барьеры цифровой зрелости предприятий и ограничения существующих цифровых решений. В результате предложена авторская концептуальная модель цифровой платформы QADAM, интегрирующая цифровые сервисы, аналитические и интеллектуальные инструменты, а также механизмы экосистемного взаимодействия. Сделан вывод о том, что реализация платформенного подхода способна снизить барьеры входа МСБ в цифровую экономику и обеспечить устойчивую трансформацию предпринимательского сектора Казахстана.

Ключевые слова: цифровая платформа, цифровая трансформация, малый и средний бизнес, платформенная экономика, цифровая экосистема, искусственный интеллект.

QADAM'S DIGITAL PLATFORM AS A TOOL FOR TRANSFORMING SMALL AND MEDIUM-SIZED BUSINESSES

B.G. Abilda

Astana International University, Astana, Kazakhstan,
e-mail: bauyrzhan.abilda@gmail.com

This article examines the digital platform as a key tool for transforming small and medium-sized businesses (SMEs) in the context of the emerging digital economy. The aim of the study is to substantiate a platform approach to the digital transformation of SMEs and develop a conceptual model of the QADAM digital platform, aimed at creating a unified digital business ecosystem in Kazakhstan. The methodological basis of the study is the systemic, ecosystem, and platform approaches, as well as methods of systematic analysis of scientific publications, comparative analysis, and conceptual modeling. The paper summarizes international and Kazakhstani experience in the digital transformation of SMEs, analyzes key barriers to the digital maturity of enterprises, and the limitations of existing digital solutions. As a result, the author proposes a conceptual model of the QADAM digital platform that integrates digital services, analytical and intelligent tools, and ecosystem interaction mechanisms. It is concluded that the implementation of a platform approach can reduce barriers to SME entry into the digital economy and ensure the sustainable transformation of the business sector in Kazakhstan.

Keywords: Digital platform, digital transformation, small and medium businesses, platform economy, digital ecosystem, artificial intelligence.

Кіріспе. Экономиканы жеделдетілген цифрландыру жағдайында цифрлық платформалар шағын және орта бизнесті (ШОБ) трансформациялаудың, бизнес-процестерді біріктірудің және нарықтарға, деректерге және цифрлық қызметтерге қол жеткізудің негізгі құралына айналуда. Халықаралық зерттеулер платформалық тәсіл ШОБ-қа ресурстардың шектеулерін жеңуге және жоғары белгісіздік жағдайында өнімділік пен тұрақтылықты арттыруға мүмкіндік беретінін растайды. Дегенмен, цифрлық платформалардың тиімділігі көбінесе бизнестің цифрлық жетілу деңгейімен, институционалдық ортамен және цифрлық экожүйелердің дамуымен анықталады.

Қазақстан үшін ШОБ-ты цифрлық трансформациялау мәселесі ерекше маңызды. Мемлекеттік цифрлық даму бағдарламаларын іске асыруға және кәсіпкерлікті қолдау үшін арнайы цифрлық қызметтердің қолжетімділігіне қарамастан, ШОБ-тардың көпшілігі цифрлық технологияларды фрагменттелген түрде, ең алдымен операциялық мақсаттарда пайдалануды жалғастыруда. ШОБ үшін бірыңғай, интеграцияланған цифрлық экожүйенің болмауы бизнесті масштабтау, аналитика және жасанды интеллект құралдарын енгізу мүмкіндігін шектейді және экономиканы цифрландырудың жалпы әсерін төмендетеді. Осыған байланысты, Қазақстанның институционалдық және экономикалық жағдайларына бейімделген ШОБ трансформациясының кешенді құралы ретінде цифрлық платформаны талдау міндеті өзекті болып табылады.

Зерттеудің мақсаты - шағын және орта бизнесті цифрлық трансформациялау құралы ретіндегі цифрлық платформаның рөлін негіздеу және оның Қазақстандағы ШОБ үшін бірыңғай цифрлық экожүйені қалыптастыру әлеуетін бағалау.

Осы мақсатқа жету үшін зерттеу келесі мақсаттарды шешуге бағытталған:

- ШОБ-тың цифрлық трансформациясы мен платформа экономикасының теориялық тәсілдерін талдау;

- ШОБ-ты қолдау үшін цифрлық платформаларды пайдаланудағы халықаралық және қазақстандық тәжірибені талдау және салыстыру;

- Қазақстандағы ШОБ-тың цифрлық трансформациясына негізгі кедергілер мен шектеулерді анықтау;

- ШОБ-қа бағытталған цифрлық платформа-

ның функционалдық және ұйымдастырушылық талаптарын анықтау;

- тұтас цифрлық бизнес экожүйесін қалыптастыру үшін платформа мен жасанды интеллект шешімдерінің әлеуетін бағалау.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы цифрлық платформаны тек технологиялық шешім ретінде ғана емес, сонымен қатар шағын және орта бизнесті трансформациялаудың экожүйелік құралы ретінде де кешенді зерттеуде жатыр. *Зерттеу:*

-дамып келе жатқан нарықтардың ерекшеліктерін ескере отырып, ШОБ платформасын трансформациялаудың заманауи ғылыми тәсілдерін жүйелейді;

- Қазақстандағы ШОБ цифрлық жетілуінің негізгі факторлары мен кедергілерін анықтайды;

- Қазақстанда бизнес қызметтерін, аналитиканы және жасанды интеллект элементтерін қамтитын бірыңғай ШОБ экожүйесін қалыптастырудың негізі ретінде цифрлық платформаның тұжырымдамалық моделін ұсынады.

Зерттеудің практикалық маңыздылығы зерттеу нәтижелері мен ұсыныстарын шағын және орта бизнесті ішкі және халықаралық деңгейде қолдау үшін цифрлық платформаларды әзірлеу және жетілдіруде пайдалану мүмкіндігінде жатыр. Зерттеу нәтижелерін мыналар пайдалана алады:

- мемлекеттік органдар ШОБ цифрландыру бағдарламаларын әзірлеуде;

- даму институттары және кәсіпкерлік экожүйелер;

- ШОБ-қа бағытталған цифрлық платформалар мен қызметтерді әзірлеушілер;

- цифрлық экономика және кәсіпкерлік бойынша білім беру және зерттеу жобалары.

Зерттеудің әдіснамалық негізі жалпы ғылыми және мамандандырылған зерттеу әдістерінің үйлесімі болды. Зерттеуде сандық платформаларды бизнес экожүйелерінің элементтері ретінде зерттеу үшін жүйелік және құрылымдық-функционалдық талдау әдістері қолданылды. Қолданыстағы тәсілдерді қорытындылау және зерттеудегі олқылықтарды анықтау үшін Scopus, Web of Science және басқа да ғылыми дереккөздерде индекстелген халықаралық және қазақстандық басылымдарға жүйелі әдебиет шолуы қолданылды.

ШОБ цифрлық трансформациясының Қазақстандық контекстін талдау үшін елдегі кәсіпорындардың цифрлық жетілуі бойынша эмпирикалық зерттеулердің салыстырмалы талдауы және логикалық синтезі қолданылды. Сондай-ақ, институционалдық талдау элементтері сандық платформалардың дамуына реттеуші және инфрақұрылымдық ортаның әсерін бағалау үшін қолданылды. Бұл әдістерді кешенді пайдалану тұтас және негізделген зерттеуді қамтамасыз етті.

Осы зерттеу нәтижесінде келесілер күтілуде:

- Қазақстандағы шағын және орта бизнестің цифрлық трансформациясындағы негізгі шектеулер мен факторларды анықтау;

- кәсіпкерлік экожүйелерді дамытудағы цифрлық платформалардың рөлін терең түсінуді қалыптастыру;

- шағын және орта бизнесті трансформациялау құралы ретінде цифрлық платформаларды құру және дамыту кезінде пайдаланылуы мүмкін тұжырымдамалық қорытындылар мен модельді әзірлеу.

Әдебиетке шолу. *Цифрлық платформалар және шағын және орта кәсіпорындардың цифрлық трансформациясы: жалпы тәсілдер.*

Цифрлық бизнес трансформациясы бойынша жүйелі әдебиетке шолуда шағын және орта кәсіпорындар (ШОБ) үшін цифрлық платформа жай ғана автоматтандыру құралы емес, бизнес моделін трансформациялаудың архитектуралық негізі екенін атап көрсетеді. Авторлар ШОБ-ты сәтті трансформациялау әртүрлі цифрлық шешімдерден процестерді, деректерді және серіктестіктерді біріктіретін платформалық тәсілге көшу арқылы мүмкін екенін көрсетеді. Дәстүрлі IT шешімдерімен салыстырғанда, платформалар тұрақты масштаб экономикасын жасайды, бірақ жоғары ұйымдастырушылық жетілуді талап етеді [1].

ШОБ-ты цифрландыру бойынша аналитикалық есепте цифрлық платформалар (бұлтты қызметтер, электрондық коммерция, цифрлық қаржылық қызметтер) шағын бизнестің бәсекеге қабілеттілігін арттырудың негізгі факторы болып табылатынын атап өтеді. Дамушы нарық елдері ШОБ-тың платформа экожүйелеріне асимметриялық қол жеткізуіне тап болып, трансформация тереңдігін шектейтіні атап өтілген. Дамыған экономикалармен салыстырғанда, бұл елдердегі цифрлық платформалардың әсері фрагменттелген [2].

ШОБ үшін құндылық жасау механизмі ретіндегі платформа экожүйелері

Бизнес, инновация және платформа экожүйелерінің салыстырмалы талдауын жүргізіп, платформа шешімдері транзакциялық шығындардың төмендеуіне және сыртқы ресурстарға қол жеткізуге байланысты ШОБ үшін ең үлкен әлеуетті ұсынатынын көрсетеді. Авторлар платформаның бірнеше субъектілерді үйлестіру құралына айналатынын, шағын фирмаларға шектеулі ішкі ресурстарын өтеуге мүмкіндік беретінін атап өтеді. Сонымен қатар, платформа ережелеріне тәуелділік ШОБ үшін жаңа тәуекелдер тудырады [3].

Сандық платформалар бүгінгі таңда барлық дерлік саланы өзгертіп жатқандықтан, олар ақпараттық жүйелер (АЖ) туралы негізгі әдебиеттерге біртіндеп еніп келеді. Сандық платформалар таралған сипатына және институттармен, нарықтармен және технологиялармен өзара байланысына байланысты күрделі зерттеу нысаны болып табылады. Платформалық инновациялардың экспоненциалды түрде өсуі, платформа архитектураларының күрделілігінің артуы және сандық платформалардың көптеген әртүрлі салаларға таралуы нәтижесінде жаңа зерттеу мәселелері туындайды [4].

Бизнес экожүйелері – бұл жеке ресурстар мен мүмкіндіктерді ортақ мақсатқа бағыттайтын автономды субъектілердің динамикалық желілік құрылымдары. Бұл зерттеу бизнес экожүйелеріндегі негізгі құндылық жасау әрекеттерін сипаттайтын модельді әзірлеу үшін дизайн теориясын ұсынады [5].

Жасанды интеллект ШОБ үшін сандық платформалардың құрамдас бөлігі ретінде.

Жасанды интеллект (ЖИ) шағын және орта бизнесті (ШОБ) трансформациялауда айтарлықтай әлеуетке ие, бірақ оны енгізу көбінесе қаржылық және адами ресурстардың шектеулілігі сияқты қиындықтарға байланысты кедергі келтіреді. Бұл зерттеу ШОБ пайдаланатын негізгі ЖИ технологияларын, олардың әртүрлі бизнес функцияларындағы кең ауқымды қолданылуын және сәтті енгізу үшін қажетті стратегияларды зерттеу арқылы осы мәселені шешеді. Зерттеу нәтижелері қызметкерлерді оқытудың, сенімді технологиялық инфрақұрылымның, деректерге негізделген мәдениеттің және ШОБ үшін стратегиялық серіктестіктің маңыздылығын көрсетеді [6].

ЖИ-ді ШОБ-та енгізу шектеулі және эксперименталды екенін, әсіресе дамушы нарықтарда екенін атап өтеді. Ірі компаниялармен салыстырғанда, ШОБ-та деректер, қаржылық ресурстар және құзыреттер жетіспейді, бұл ЖИ-ге негізделген сандық платформалардың нақты әсерін төмендетеді [7].

Қазақстандағы шағын және орта бизнестің цифрлық жетілуінің эмпирикалық зерттеулері.

Технологиялық, ұйымдастырушылық және институционалдық өлшемдерді ескере отырып, Қазақстандағы шағын және орта бизнестің цифрлық жетілу моделін әзірледі. Зерттеу нәтижелері көптеген шағын және орта бизнес субъектілерінің цифрландырудың алғашқы кезеңдерінде екенін, бұл олардың платформалық шешімдерді пайдалану мүмкіндігін шектейтінін көрсетеді. Дамыған цифрлық экономикасы бар елдерден айырмашылығы, Қазақстандағы цифрлық платформалар көбінесе үзік-үзік қолданылады [8].

Журналдағы зерттеулер [9] Қазақстандағы шағын және орта бизнестің цифрлық трансформациясының негізгі кедергілері қаржылық ресурстардың жетіспеушілігі, білікті кадрлардың жетіспеушілігі және цифрлық қызмет интеграциясының төмен деңгейі екенін растайды. Авторлар қолданыстағы цифрлық бастамалар

шағын және орта бизнес үшін бірыңғай экожүйе құрмайтынын атап өтеді [9].

Қолданыстағы шешімдердің салыстырмалы талдауы.

Халықаралық және ұлттық зерттеулердің талдауы дамыған экономикаларда ШОБ үшін цифрлық платформалар электрондық коммерцияны, қаржыны, аналитиканы және сервистік қолдауды біріктіретін интеграцияланған экожүйелер ретінде құрылғанын көрсетеді. Қазақстанды қоса алғанда, дамушы нарықтарда ШОБ үшін цифрлық шешімдер көбінесе жүйелік бизнес трансформациясын көздемейтін әртүрлі қызметтер мен қолдау бағдарламаларымен ұсынылады [10].

Американдық электрондық коммерция нарығы 1990 жылдардың соңында Amazon мен eBay арқасында пайда бола бастады. Дегенмен, нағыз секіріс 2010 жылдан кейін, Amazon FBA (Amazon арқылы орындау) моделіне көшкеннен кейін болды, бұл кәсіпкерлерге Amazon қоймаларын, логистикасын және тұтынушыларға қызмет көрсетуді аутсорсингке беруге мүмкіндік берді. Walmart Marketplace, Etsy және Target Plus кейінірек нарыққа қосылды, ал Shopify Shop қолданбасымен біріктірілген миллиондаған тікелей тұтынушыға арналған дүкендерге негізделген өзінің «нарықтық платформаға ұқсас» жүйесін жасады. Нәтижесінде, нарықтар іс жүзінде жаңа сандық «бөлшек сауда желісіне» айналды, онымен ШОБ өз дүкендерін ашудан гөрі жұмыс істеу тиімдірек деп тапты.

Қазақстандық модель басқаша дамыды. Мұнда қозғаушы күш бір ғана алып емес, мыналардың үйлесімі болды:

- kaspi.kz, ол маркетплейсті, мобильді төлемдерді, логистиканы және несиелерді біріктірді;

- Ресейден келген және жаңа нарық стандарттарын әкелген Wildberries және Ozon;

- satu.kz, каталогтар мен B2B саудасына бағытталған шағын бизнес платформасы;

- өзінің курьерлік және қойма инфрақұрылымының өсуі.

Маңыздысы, қазақстандық маркетплейс финтехпен синхрондалып дамыды. Бұл бөліп төлеу жоспарларының, лезде төлемдердің және пайдаланушыға ыңғайлы қолданба интерфейстерінің арқасында электрондық коммерцияны негізгі бағытқа айналдырды. Шын мәнінде, Қазақстанда маркетплейс бұрын оффлайн баламасы болмаған шағын бизнес үшін толыққанды жұмыс істейтін платформаға айналды.

Қысқаша мазмұны және зерттеу мәселесінің тұжырымы.

Кешенді әдебиеттерге шолу ШОБ цифрлық трансформациясы үшін табысты халықаралық платформалық шешімдер мен теориялық тұрғыдан негізделген модельдердің қолжетімділігіне қарамастан, Қазақстанда шағын және орта бизнес (ШОБ) үшін үйлесімді цифрлық экожүйені дамытудағы негізгі мәселелер шешілмегенін көрсетеді. ШОБ арасындағы цифрлық жетілудің төмен деңгейі, қолданыстағы цифрлық қызметтердің фрагментациясы және платформа мен жасанды интеллект шешімдерін шектеулі пайдалану секторда нақты цифрлық трансформацияның болмауына ықпал етеді. Бұл зерттеудегі олқылық Қазақстанда ШОБ трансформациясы құралы ретінде тиімді цифрлық платформаны одан әрі талдау мен әзірлеудің өзектілігін көрсетеді.

Материалдар мен тәсілдер. *Жалпы әдіснамалық негіз.* Бұл зерттеу цифрлық бизнесті трансформациялау теориясының, платформа экономикасының және шағын және орта бизнесті (ШОБ) дамытуға экожүйелік тәсілдің қағидаттарын біріктіретін пәнаралық тәсілге негізделген. Зерттеу әдіснамасы қолданыстағы цифрлық шешімдерді салыстырмалы талдауға, сондай-ақ Қазақстандағы ШОБ-ты кешенді трансформациялау құралы ретінде QADAM цифрлық платформасының авторлық тұжырымдамалық моделін әзірлеуге және растауға бағытталған.

Зерттеу қолданыстағы сипатта және практикалық мәселені шешуге бағытталған: бизнес-процестерді, аналитиканы, білім беруді және қаржылық қызметтерді бірыңғай платформаға біріктіретін ШОБ үшін үйлесімді цифрлық экожүйенің болмауы.

Әдістемелік тәсілдер. Бұл зерттеуде жүйелік тәсіл, экожүйелік тәсіл, платформалық тәсіл және процесстік тәсіл сияқты бірқатар қосымша әдістемелік тәсілдер қолданылады.

Жүйелік тәсіл сандық платформаны технологиялық инфрақұрылымды, ШОБ бизнес процестерін, экожүйе қатысушыларын және институционалдық ортаны қамтитын күрделі әлеуметтік-экономикалық жүйе ретінде зерттеу үшін қолданылады. Бұл тек жеке сандық қызметтерді ғана емес, сонымен қатар олардың өзара байланысын және жинақталған трансформациялық әсерін талдауға мүмкіндік береді.

Экожүйелік тәсіл QADAM сандық платформасын әртүрлі субъектілер: ШОБ, мемлекеттік мекемелер, қаржы ұйымдары, білім беру және консалтингтік провайдерлер және сандық технологиялар провайдерлері арасындағы өзара әрекеттесуді үйлестіру орталығы ретінде тұжырымдау үшін қолданылады. Бұл тәсіл құндылық пен желілік әсерлерді бірлесіп жасау механизмдерін сипаттауға мүмкіндік береді.

Платформалық тәсіл QADAM архитектурасын дамытудың негізін қалайды және модульдік, масштабталу және ашықтық қағидаттарын пайдаланады. Платформа ШОБ-тарға бір терезе форматында сандық қызметтер мен деректер жиынтығына қол жеткізуді қамтамасыз ететін инфрақұрылымдық негіз ретінде қарастырылады. Процеске негізделген тәсіл ШОБ сандық трансформациясының кезеңдерін - бастапқы сандық жетілуден бастап платформа экожүйесіне интеграцияға дейін сипаттау үшін қолданылады. Бұл платформаның функционалдығын кәсіпорындардың нақты бизнес-процестерімен байланыстыруға мүмкіндік береді.

Зерттеу әдістері мен материалдар.

Көрсетілген мақсаттар мен міндеттерге жету үшін зерттеуде сапалық және аналитикалық әдістердің үйлесімі қолданылды, соның ішінде:

- ШОБ цифрлық трансформациясының негізгі үрдістерін, модельдерін және шектеулерін анықтау үшін ғылыми дереккөздерді жүйелі талдау.

- цифрлық бизнес платформаларын құруға халықаралық және қазақстандық тәсілдерді салыстыру үшін салыстырмалы талдау.

- QADAM цифрлық платформасының меншікті моделін әзірлеу және оның құрылымдық элементтерін сипаттау үшін тұжырымдамалық модельдеу.

- платформа үшін қорытындылар мен жобалау принциптерін тұжырымдау үшін аналитикалық синтез.

- платформаны одан әрі зерттеу және пилоттық енгізу үшін эмпирикалық тестілеу және сандық бағалау әдістері ұсынылады.

QADAM сандық платформасының тұжырымдамалық моделі. Бұл зерттеуде Қазақстандағы шағын және орта бизнесті кешенді түрде трансформациялауға бағытталған QADAM сандық платформасының тұжырымдамалық моделі ұсынылады. Модель негізгі сандық қызметтер мен ШОБ қолдау құралдарын бірыңғай платформа ортасына біріктіру қағидатына негізделген.

Тұжырымдамалық тұрғыдан QADAM платформасы келесі өзара байланысты қабаттарды қамтиды (1-сурет):

1) инфрақұрылым қабаты – деректерді сақтауды, есептеу ресурстарын және платформаның масштабталуын қамтамасыз ететін бұлтқа негізделген сандық орта. Бұл қабат QADAM үшін технологиялық негізді құрайды.

2) сандық қызметтердің функционалдық қабаты - ШОБ үшін модульдік шешімдер жиынтығы, оның ішінде:

- тұтынушылар мен сатуды басқару (CRM);

- негізгі ERP функциялары (бухгалтерлік есеп, қорларды басқару);

- электрондық коммерция және сандық тарату арналары;

- қаржылық және финтех қызметтері;

- басқару шешімдерін қолдауға арналған аналитикалық басқару тақталары.

3) Интеллектуалды деңгей (AI компоненттері)- AI-as-a-Service форматында енгізілген жасанды интеллект құралдары:

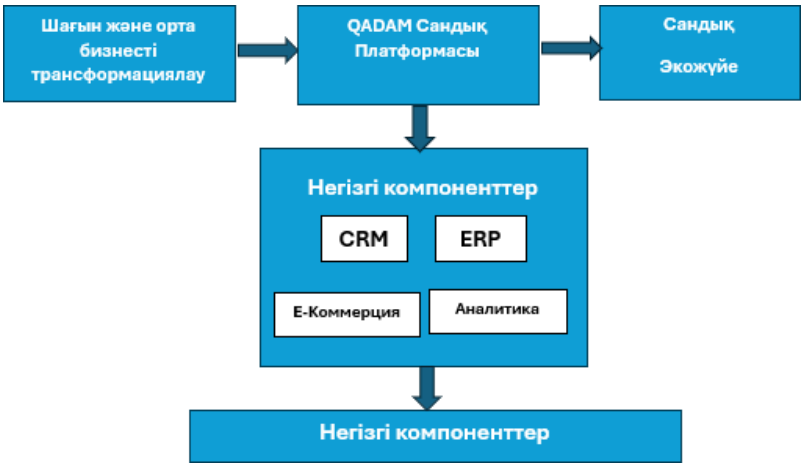
- ақылды аналитика және сұранысты болжау;

- ШОБ үшін жеке ұсыныстар;

- автоматтандырылған қолдау чатботтары;

- бизнестің цифрлық жетілуін бағалауға арналған ақылды модульдер.

4) Экожүйе деңгейі-ШОБ сыртқы қатысушылармен: мемлекеттік қызметтермен, білім беру платформаларымен, консалтингтік компаниялармен, инвесторлармен және технологиялық серіктестермен өзара әрекеттесуге арналған орта. Бұл деңгей желілік әсерлер мен платформаның тұрақтылығын қамтамасыз етеді.



1-сурет. ШОБ үшін цифрлық платформаның тұжырымдамалық моделі
(Дереккөз: Автор әзірлеген)

1-суретте авторлар әзірлеген және Қазақстандағы шағын және орта бизнесті кешенді түрде өзгертуге бағытталған QADAM цифрлық платформасының тұжырымдамалық моделі көрсетілген.

QADAM платформасын әзірлеу және енгізу кезеңдері

QADAM цифрлық платформасын құру әдістемесі кезең-кезеңмен енгізуді қамтиды (2-сурет):

- ШОБ цифрлық жетілуді бағалау - кәсіпорындарды цифрландырудың ағымдағы деңгейі туралы деректерді жинау және талдау.

- платформа архитектурасын жобалау - қызметтер мен деректердің модульдік құрылымын құру.

- негізгі цифрлық модульдерді әзірлеу - негізгі қызметтер мен жасанды интеллект құралдарын енгізу.

- серіктес қызметтерді интеграциялау - сыртқы экожүйе қатысушыларын тарту.

- пилоттық енгізу және масштабтау - платформаны сынақтан өткізу және оны ШОБ-тың әртүрлі сегменттеріне бейімдеу.



2-сурет. - QADAM моделін әзірлеу алгоритмі
(Дереккөз: Автор әзірлеген)

Технологиялар және материалдар

Бұл зерттеу QADAM платформасын енгізу үшін заманауи цифрлық технологияларды пайдалануды қарастырады:

- бұлтты есептеулер;

- микросервис архитектурасы;

- үлкен деректер технологиялары;

- машиналық оқыту және деректерді талдау;

- мемлекеттік және коммерциялық қызметтермен API интеграциясы;

- киберқауіпсіздік және деректерді қорғау құралдары.

Бұл технологияларды пайдалану платформаның икемділігін, масштабталуын және ШОБ қажеттіліктеріне бейімделуін қамтамасыз етеді.

Зерттеудің әдіснамалық шектеулері.

Зерттеудің шектеулері ұсынылған модельдің тұжырымдамалық сипаты болып табылады, ол Қазақстандағы ШОБ үшін бірыңғай цифрлық платформаларды енгізу бойынша ауқымды эмпирикалық деректердің болмауына байланысты. Дегенмен, бұл шектеу кейінгі қолданбалы зерттеулер мен пилоттық жобалардың негізін құрайды.

Осылайша, әзірленген әдіснама бізге QADAM цифрлық платформасын шағын және орта бизнесті жүйелік трансформациялау құралы ретінде тексеруге және оны практикалық енгізу үшін теориялық және әдіснамалық негіз жасауға мүмкіндік береді.

Нәтижелер мен талқылау. *ШОБ цифрландыруға кедергілерді азайтуды растау*

QADAM цифрлық платформасының ұсынылған тұжырымдамалық моделін талдау платформалық тәсілді қолдану шағын және орта бизнестің цифрлық экономикаға кіруіне кедергілерді айтарлықтай азайта алатынын көрсетеді. Негізгі әсер әртүрлі цифрлық шешімдерден «бірыңғай цифрлық терезе» моделіне көшу арқылы қол жеткізіледі (1-кесте).

1 - кесте. ШОБ цифрландыруға кедергілерді салыстырмалы талдау

Критерий	Дәстүрлі тәсіл	Платформалық тәсіл (QADAM)
Бастапқы инвестиция	Жоғары (бағдарламалық жасақтама, серверлер, IT қызметкерлері)	Төмен (жазылу, SaaS)
Іске асырудың күрделілігі	Жоғары	Орташа / Төмен
Аналитикаға қол жеткізу	Шектеулі	Кіріктірілген
Жасанды интеллектті пайдалану	Іс жүзінде жоқ	Қызмет ретінде қолжетімді
Масштабталу мүмкіндігі	Шектеулі	Жоғары

(Дереккөз: Автор әзірлеген)

Талқылауға қатысты түсіндірмелер: 1-кесте алынған деректер платформа моделінің қаржылық, технологиялық және кадрлық кедергілерді азайтатынын көрсетеді, бұл әсіресе Қазақстандағы ШОБ үшін өте маңызды.

ШОБ цифрлық жетілуді жақсарту (модельдеу нәтижелері). Тұжырымдамалық модельдеу нәтижелері QADAM платформасы кәсіпорындардың цифрлық жетілуінің халықаралық цифрлық трансформация модельдеріне сәйкес біртіндеп өсуіне мүмкіндік беретінін көрсетеді.

QADAM көмегімен ШОБ цифрлық жетілуінің өсу кезеңдерінің схемалық көрінісі төменде, 3-суретте келтірілген



3-сурет. QADAM көмегімен шағын және орта бизнестің цифрлық жетілу кезеңдері
(Дереккөз: Автор әзірлеген)

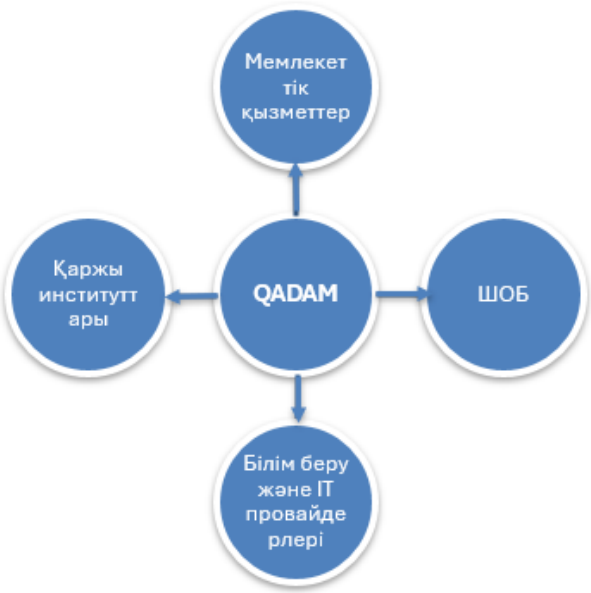
Талқылауға қатысты түсіндірмелер: Осы құрылымға сәйкес, ШОБ шығындардың күрт өсуінсіз операциялық цифрландырудан интеллектуалды бизнес басқаруға көше алады.

Жасанды интеллект құралдарын енгізу нәтижелері (Тұжырымдамалық бағалау).

Зерттеудің негізгі тұжырымдарының бірі - жасанды интеллектті ШОБ цифрлық платформаларына жасанды интеллект ретінде қызмет көрсету форматында интеграциялаудың орындылығының дәлелі (2-кесте).

2 - кесте. QADAM платформасындағы жасанды интеллект қолданудың әсері

Жасанды интеллект	Модулінің мақсаты	Расталған әсер
Сұраныс болжамы	Сатуды талдау	Белгісіздіктің азаюы
Ұсыныс жүйелері	Шешім қабылдауды қолдау	Басқару тиімділігінің артуы
Чатботтар	Коммуникациялар	Операциялық шығындардың азаюы
Жетілгендікті бағалау	Бизнесті бағалау	Жекешелендірілген цифрлық әзірлеме



4-сурет. QADAM сандық платформа экожүйесі
(Дереккөз: Автор әзірлеген)

(Дереккөз: Автор әзірлеген)

Талқылауға қатысты түсіндірмелер: Жасанды интеллект платформасының форматы шағын және орта бизнес субъектілеріне өздерінің IT инфрақұрылымын құру қажеттілігінсіз ақылды құралдарды пайдалануға мүмкіндік береді.

Сандық платформаның экожүйелік әсері. QADAM платформасы кәсіпкерлік ортадағы негізгі қатысушыларды біріктіру арқылы экожүйелік әсер жасайды. QADAM сандық платформа экожүйесінің схемалық көрінісі 4-суретте көрсетілген.

Талқылауға қатысты түсіндірмелер: Экожүйелік тәсіл транзакциялық шығындарды азайтады, ШОБ-тың ресурстарға қол жеткізуін жеделдетеді және желілік әсерді күшейтеді.

Қолданыстағы шешімдермен салысты-

ру. Қолданыстағы цифрлық шешімдер мен QADAM платформасын салыстыру, сондай-ақ оларды бағалау төменде 3-кестеде келтірілген.

3-кесте. Қолданыстағы цифрлық шешімдер мен QADAM платформасын салыстыру

Критерийлер	Қолданыстағы шешімдер	QADAM
Қызмет интеграциясы	Төмен	Жоғары
Экожүйе	Фрагменттік	Бірыңғай
Жасанды интеллект компоненттері	Жеке	Кіріктірілген
Шағын және орта бизнеске бағытталға	Ішінара	Толық

(Дереккөз: Автор әзірлеген)

Талқылауға қатысты түсіндірмелер: QADAM оқшауланған емес, жүйелік сандық трансформация әсерін қамтамасыз етеді.

Сонымен, алынған зерттеу және талдау нәтижелері QADAM сандық платформасының әзірленген тұжырымдамалық моделінің:

- ШОБ-ты цифрландыруға кедергілерді азайтатынын;

- сандық жетілуге ықпал ететінін;

- жасанды интеллект құралдарына қолжетімділікті қамтамасыз ететінін;

- Қазақстанда тұрақты сандық бизнес экожүйесін құратынын растайды.

Қорытындылай келе, QADAM сандық платформасының ұсынылған тұжырымдамалық моделі Қазақстандағы шағын және орта бизнесті трансформациялау үшін айтарлықтай әлеуетке ие деп айтуға болады.

Жасанды интеллектті пайдалану арқылы жетілдірілген платформа және экожүйелік тәсіл шағын және орта бизнестің фрагменттелген сандықтандырылуынан жүйелік сандық трансформациясына көшуге мүмкіндік береді, бұл кәсіпкерліктің және елдің сандық экономикасының тұрақты дамуының негізін құрайды.

Қорытынды. Зерттеу бүгінгі ортадағы цифрлық платформалардың тек автоматтандыруды қолдау құралы ғана емес, сонымен қатар шағын және орта бизнестің (ШОБ) трансформациясында жүйе құрушы фактор болып табылатынын, олардың тұрақтылығын, бәсекеге қабілеттілігін және цифрлық экономикада өркендеу қабілетін анықтайтынын растады. Халықаралық және қазақстандық ғылыми басылымдарды мұқият талдау платформалық тәсіл бизнес-процестерді, деректерді және қызметтерді интеграциялауды жеңілдететінін, ШОБ ресурстардың шектеулерін өтей алатын және аналитикалық және интеллектуалды құралдарды қоса алғанда, заманауи цифрлық технологияларға қол жеткізе алатын экожүйені құратынын көрсетті.

Әдебиетке шолу нәтижелері дамыған экономикаларда ШОБ үшін цифрлық платформалар электрондық коммерция, қаржы, оқыту, аналитика және басқарушылық шешімдерді қолдау құралдарын біріктіретін кешенді экожүйелерге айналғанын көрсетеді. Сонымен қатар, Қазақстан контекстін талдау жарияланған цифрландыру мақсаттары мен ШОБ-тың цифрлық жетілуінің нақты деңгейі арасындағы айтарлықтай алшақтықты анықтады. Фрагменттелген цифрлық шешімдердің таралуы, қызмет көрсету интеграциясының нашарлығы, аналитика және жасанды интеллект құралдарына шектеулі қолжетімділік және дағдылардағы алшақтық сектордың шынайы цифрлық трансформациясына кедергі келтіретін құрылымдық кедергілер туды-рады.

Зерттеу Қазақстандағы шағын және орта биз-

несті цифрлық дамытудың негізгі қиындығы жеке цифрлық қызметтердің болмауында емес, дамудың барлық кезеңдерінде кешенді бизнес қолдауын қамтамасыз ете алатын біртұтас, тұтас цифрлық экожүйенің болмауында екенін көрсетеді. Бұл институционалдық және технологиялық алшақтық арнайы IT бастамаларынан келесі буын платформалық шешімдерге көшуді қажет етеді.

Зерттеуде әзірленген QADAM цифрлық платформасының тұжырымдамалық моделі автордың шағын және орта бизнесті цифрлық трансформациялау теориясы мен тәжірибесін дамытуға қосқан үлесін білдіреді. Негізінен жеке функцияларға немесе қызметтерге бағытталған қолданыстағы шешімдерден айырмашылығы, ұсынылған модель инфрақұрылымдық, функционалдық, интеллектуалдық және экожүйелік деңгейлерді біріктіруге негізделген. Бұл платформаны тек технологиялық өнім ретінде ғана емес, сонымен қатар бизнес, үкімет және серіктес ұйымдар арасындағы бірыңғай цифрлық кеңістіктегі өзара әрекеттесуді үйлестіру механизмі ретінде де қарастыруға мүмкіндік береді.

Зерттеуде жасанды интеллекттің цифрлық платформалардың трансформациялық әсерінің катализаторы ретіндегі рөліне ерекше назар аударылады. Жасанды интеллектті платформалық қызметтер ретінде енгізу ШОБ субъектілерінің аналитика мен интеллектуалды құралдарды пайдаланудағы кедергілерін азайтатыны көрсетілген, бұл әсіресе ресурстары шектеулі және цифрлық жетілудің төмен деңгейі бар компаниялар үшін маңызды. Осылайша, жасанды интеллект компоненттері бар цифрлық платформа ШОБ субъектілерінің операциялық цифрландырудан деректерге негізделген және білімге негізделген басқару модельдеріне көшуінің катализаторы бола алады.

Алынған нәтижелердің практикалық маңыздылығы оларды ШОБ қолдау үшін цифрлық платформаларды әзірлеу және енгізуде, сондайақ елдегі кәсіпкерлікті цифрлық дамыту бойынша мемлекеттік және институционалдық бағдарламаларды әзірлеуде пайдалану мүмкіндігінде жатыр. Ұсынылған әдіснамалық тәсілдер мен тұжырымдамалық модель пилоттық жобалар, эмпирикалық валидация және кейіннен Қазақстандағы платформалық шешімдерді масштабтау үшін негіз бола алады.

Жалпы алғанда, зерттеу нәтижелері бірыңғай цифрлық платформаны әзірлеу Қазақстандағы шағын және орта бизнесті нақты трансформациялаудың алғышарты екенін растайды. Экожүйелік өзара әрекеттесуге және интеллектуалды технологияларды пайдалануға бағытталған платформалық тәсілді енгізу ШОБ субъектілерінің цифрлық жетілу деңгейін арттырып қана қоймай, сонымен қатар ұлттық экономикалық даму үшін ұзақ мерзімді пайда әкелуі мүмкін. Әрі қарайғы зерттеулер ұсынылған модельдің тиімділігін эмпирикалық бағалауға және іс жүзінде енгізу кезінде оның әлеуметтікэкономикалық әсерін талдауға бағытталуы керек.

Әдебиеттер

1. Sarmiento, A. G. M. (2024). A Systematic Literature Review of Digital Transformation. International Journal of Multidisciplinary: Applied Business and Education Research.// APPLED BISINESS AND EDUCATION RESEARH.-2024.-Vol.5(12).-P.4974-4991. DOI 10.11594/ijmaber.05.12.07.

2. OECD (2021), The Digital Transformation of SMEs.// OECD.-2021. –P.1-275. DOI 10.1787/bdb9256a-en.

3. Hein, A., Schreieck, M., Riasanow, T. et al. Digital platform ecosystems.//Electron Markets.-2020.Vol.30.-P.87-98.DOI 10.1007/s12525-019-00377-4.

4. Mark de Reuver, Carsten Sørensen, Ranul C. Basole. The Digital Platform: A Research Agenda.// Journal of Information Technology.-2018.Vol.33.-P.124-135. DOI 10.1057/s41265-016-0033-3.

5. Christian Betz. Reinhard Jung. Christian and Jung, Reinhard. Value Creation in Business Ecosystems-A Design Theory for a Reference Model. (2021).//AIS Electronic Library. -2021.-P.1-11. URL: https: //aisel.aisnet.org/amcis2021/virtual_communities/virtual_communities/4.

6. Le Dinh, T., Vu, M.-C., Tran, G. T. C. Artificial Intelligence in SMEs: Enhancing Business Functions Through Technologies and Applications.//Information.-2025.-Vol.16(5).415.-P.1-22. DOI.10.3390/info16050415.

7. Kramarenko A. Artificial intelligence for small and medium business: perspectives and challenges // Journal of engineering management and competitiveness.-2025.-Vol.15 (1). -P.43-56. DOI 10.5937/JEMC2501043K.

8. A. Yezhebay, V. Sengirova, D. Igali, Y. O. Abdallah and E. Shehab. Digital Maturity and Readiness Model for Kazakhstan SMEs.//IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST).-2021. DOI 10.1109/SIST50301.2021.9465890.

9. Mohammad Fawzi Shubita (2023). The effect of human capital and structural capital on leverage: Evidence from Jordan.//Problems and Perspectives in Management.-2023.-Vol.21(3).-P.1-10. DOI 10.21511/ppm.21(3).2023.01.

10. Kazakhstan Economic Update, Winter 2024-2025: Funding the Future - Boosting Revenues for Lasting Investments.//World Bank.-2025.-P.1-41. DOI 10.1596/42791

References

1. Sarmiento, A. G. M. (2024). A Systematic Literature Review of Digital Transformation. International Journal of Multidisciplinary: Applied Business and Education Research.// APPLED BISINESS AND EDUCATION RESEARH.-2024.-Vol.5(12).-P.4974-4991. DOI 10.11594/ijmaber.05.12.07.

2. OECD (2021), The Digital Transformation of SMEs.// OECD.-2021. –P.1-275. DOI 10.1787/bdb9256a-en.

3. Hein, A., Schreieck, M., Riasanow, T. et al. Digital platform ecosystems.//Electron Markets.-2020.Vol.30.-P.87-98.DOI 10.1007/s12525-019-00377-4.

4. Mark de Reuver, Carsten Sørensen, Ranul C. Basole. The Digital Platform: A Research Agenda.// Journal of Information Technology.-2018.Vol.33.-P.124-135. DOI 10.1057/s41265-016-0033-3.

5. Christian Betz. Reinhard Jung. Christian and Jung, Reinhard. Value Creation in Business Ecosystems-A Design Theory for a Reference Model. (2021).//AIS Electronic Library. -2021.-P.1-11. URL: https: //aisel.aisnet.org/amcis2021/virtual_communities/virtual_communities/4.

6. Le Dinh, T., Vu, M.-C., Tran, G. T. C. Artificial Intelligence in SMEs: Enhancing Business Functions Through Technologies and Applications.//Information.-2025.-Vol.16(5).415.-P.1-22. DOI.10.3390/info16050415.

7. Kramarenko A. Artificial intelligence for small and medium business: perspectives and challenges // Journal of engineering management and competitiveness.-2025.-Vol.15 (1). -P.43-56. DOI 10.5937/JEMC2501043K.

8. A. Yezhebay, V. Sengirova, D. Igali, Y. O. Abdallah and E. Shehab. Digital Maturity and Readiness Model for Kazakhstan SMEs.//IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST).-2021. DOI 10.1109/SIST50301.2021.9465890.

9. Mohammad Fawzi Shubita (2023). The effect of human capital and structural capital on leverage: Evidence from Jordan.//Problems and Perspectives in Management.-2023.-Vol.21(3).-P.1-10. DOI 10.21511/ppm.21(3).2023.01.

10. Kazakhstan Economic Update, Winter 2024-2025: Funding the Future - Boosting Revenues for Lasting Investments.//World Bank.-2025.-P.1-41. DOI 10.1596/42791.

Авторлар туралы мәліметтер

Әбілда Б. - магистрант, Astana International University, Астана, Қазақстан, e-mail:bauyrzhan.abilda@gmail.com

Information about the authors

Abilda B. - master student, Astana International University, Astana, Kazakhstan, mail:bauyrzhan.abilda@gmail.com.

МРНТИ 20.23.21 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1285**

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЦЕНАРИЕВ НАРУШЕНИЙ ЦЕЛОСТНОСТИ ДАННЫХ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ КОММУНИКАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

[1]Л.О. Жумабаева, [2]Mohamed Othman, [1]М.А. Орынбасар, [1]Б.А. Жұмажан, [1]М.Е. Ақбердиева
[1]Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова, г. Актау, Казахстан
[2]Universiti Putra Malaysia, Malaysia

Корреспондент-автор: maksym1.orynbassar@yu.edu.kz

В статье рассматриваются интеллектуальные социальные системы (ИСС) представляют собой интегрированные цифровые экосистемы, объединяющие пользователей, аналитические сервисы и алгоритмы искусственного интеллекта для управления коммуникациями, репутационными процессами и общественным взаимодействием. К таким системам относятся социальные сети, государственные платформы цифрового взаимодействия («Госуслуги», «Активный гражданин»), краудсорсинговые площадки и образовательные онлайн-экосистемы.

Главная особенность ИСС заключается в их высокой социальной значимости данных. Ошибки, подмены или целенаправленные манипуляции в информационных потоках ведут не только к технологическим, но и к социальным последствиям — снижению уровня доверия пользователей, распространению дезинформации, искажению общественного мнения и результатов электронных голосований.Таким образом, обеспечение целостности данных в ИСС становится одной из ключевых задач цифрового общества. Необходимо не только защитить данные от внешних воздействий, но и гарантировать корректность, достоверность и непротиворечивость их формирования, хранения и обработки.

Ключевые слова: интеллектуальные социальные системы, имитационное моделирование, целостность данных, когнитивные атаки, информационные искажения, агентное моделирование, машинное обучение, нейросетевые алгоритмы, графовые нейронные сети, автоэнкодеры, LSTM, цифровое доверие, поведенческие аномалии, анализ информационных потоков, обеспечение безопасности данных.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ӨЗАРА ӘРЕКЕТТЕСУ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ ДЕРЕКТЕР ТҰТАСТЫҒЫНЫҢ БҰЗЫЛУ СЦЕНАРИЙЛЕРІН МОДЕЛЬДЕУ

[1]Л.О. Жумабаева, [2]Mohamed Othman, [1]М.А. Орынбасар, [1]Б.А. Жұмажан, [1]М.Е. Ақбердиева
[1]Ш.Ш. атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті. Есенов, г. Актау, Казахстан,
[2]Universiti Putra Malaysia, Malaysia,
e-mail: maksym1.orynbassar@yu.edu.kz

Мақалада интеллектуалды әлеуметтік жүйелер (ИАЖ) интеграцияланған цифрлық экожүйелер ретінде қарастырылады, олар пайдаланушыларды, талдамалық сервистерді және жасанды интеллект алгоритмдерін біріктіріп, коммуникацияларды, беделдік процестерді және қоғамдық өзара іс-қимылды басқаруға мүмкіндік береді. Мұндай жүйелерге әлеуметтік желілер, цифрлық өзара әрекеттесу мемлекеттік платформалары («Электрондық үкімет», «Белсенді азамат»), краудсорсинг алаңдары және онлайн-білім беру экожүйелері жатады.ИАЖ-дың негізгі ерекшелігі – деректердің жоғары әлеуметтік маңыздылығы. Ақпараттық ағындардағы қателіктер, алмастырулар немесе әдейі жасалған манипуляциялар тек технологиялық емес, сонымен қатар әлеуметтік салдарға әкеледі — пайдаланушылар сенімінің төмендеуі, дезинформацияның таралуы, қоғамдық пікір мен электрондық дауыс беру нәтижелерінің бұрмалануы.

Сондықтан деректердің тұтастығын қамтамасыз ету цифрлық қоғамның негізгі міндеттерінің бірі болып табылады. Деректерді сыртқы әсерлерден қорғап қана қоймай, олардың қалыптасуының, сақталуының және өңделуінің дұрыстығын, сенімділігін және қайшылықсыздығын қамтамасыз ету қажет.

Түйін сөздер: интеллектуалды әлеуметтік жүйелер, имитациялық модельдеу, деректердің тұтастығы, когнитивтік шабуылдар, ақпараттық бұрмалау, агенттік модельдеу, машиналық оқыту, нейрожелілік алгоритмдер, графтық нейрондық желілер, автоэнкодерлер, LSTM, цифрлық сенім, мінез-құлық аномалиялары, ақпараттық ағындарды талдау, деректер қауіпсіздігін қамтамасыз ету.

MODELING SCENARIOS OF DATA INTEGRITY VIOLATIONS IN INTELLIGENT COMMUNICATIVE INTERACTION SYSTEMS

[1]L.O. Zhumabayeva, [2]Mohamed Othman, [1]M.A. Orynbassar, [1]B.A. Zhumazhan, [1]M.E. Akberdiyeva

[1]Sh. Yessenov Caspian University of Technology and Engineering, Aktau, Kazakhstan,
[2]Universiti Putra Malaysia, Malaysia,
e-mail: maksym1,orynbassar@yu.edu.kz

The article is examined intelligent social systems (ISS) as integrated digital ecosystems that unite users, analytical services, and artificial intelligence algorithms to manage communications, reputation processes, and public interaction. Such systems include social networks, government digital interaction platforms (“Gosuslugi”, “Active Citizen”), crowdsourcing platforms, and educational online ecosystems. The main feature of ISS lies in the high social significance of their data. Errors, substitutions, or deliberate manipulations in information flows lead not only to technological but also to social consequences — reducing user trust, spreading disinformation, and distorting public opinion and electronic voting results.

Thus, ensuring data integrity in ISS becomes one of the key challenges of the digital society. It is necessary not only to protect data from external influences but also to guarantee the correctness, reliability, and consistency of their formation, storage, and processing.

Keywords: intelligent social systems, simulation modeling, data integrity, cognitive attacks, information distortion, agent-based modeling, machine learning, neural network algorithms, graph neural networks, autoencoders, LSTM, digital trust, behavioral anomalies, information flow analysis, data security assurance.

Introduction. The modern information space is characterized by a high degree of interconnectedness, rapid data exchange, and the widespread implementation of artificial intelligence (AI) technologies in social and managerial processes. Against this backdrop, a special role is played by intelligent social systems (ISS) - integrated digital ecosystems that bring together users, analytical services, and AI algorithms to manage communication, reputation processes, and public interaction. Such systems include social networks, government digital interaction platforms (e.g., “Gosuslugi”, “Active Citizen”), crowdsourcing platforms, and online educational ecosystems, in which vast volumes of user data continuously circulate.

In the context of the digital transformation of society, data become a strategic resource that determines the effectiveness of decision-making, the level of trust in digital platforms, and the resilience of social infrastructure. Violations of data integrity - whether caused by technical failures, deliberate manipulations, or cognitive distortions - have a significant impact on the reliability of information, undermine the reputation of digital services, and can lead to the destabilization of social processes.

Data integrity in intelligent systems is not limited to preservation and immutability; it also includes ensuring semantic, behavioral, and temporal consistency. Traditional protection methods based on cryptographic approaches (hashing, digital signatures, backup mechanisms) are proving insufficient under current conditions. They do not take into account the socio-cognitive aspects of digital interaction, where the source of distortion may be the behavior of users themselves, of algorithms, or of bots.

In this regard, the development of intelligent methods for analysis and modeling capable of detecting hidden threats and forecasting scenarios of data degradation in ISS becomes an urgent

scientific challenge. One of the most promising approaches to addressing this problem is simulation modeling, which makes it possible to reproduce complex socio-informational processes, investigate the dynamics of data integrity violations, and assess the impact of various factors on their propagation.

Simulation modeling, when combined with machine learning methods and neural network analysis, enables the creation of experimental digital twins of social systems, where the patterns of cognitive attacks, fake activity, and other forms of anomalies can be studied. This opens up new prospects for building digital trust systems in which intelligent algorithms perform functions of diagnostics, adaptation, and restoration of data integrity in real time.

Thus, this study is aimed at developing a methodology for simulation modeling of data integrity violations in intelligent social systems and at creating analytical tools capable of enhancing the reliability and resilience of digital ecosystems.

Literature Review. The problem of ensuring data integrity in intelligent social systems (ISS) is one of the key topics in contemporary digital science. In recent years, interest has grown significantly in studying the relationship between the technical and social aspects of ISS functioning, where data violations are considered not only as the result of cyberattacks, but also as a consequence of cognitive biases, user behavior, and algorithmic anomalies. Modern researchers note that intelligent social systems represent complex human–machine ecosystems in which information flows are formed simultaneously at the technological and behavioral levels. Therefore, classical information protection methods based solely on cryptographic principles are becoming insufficient. There is a need for comprehensive approaches that combine simulation modeling, machine learning, and behavioral analysis.

According to studies in the field of digital security, data integrity violations in ISS often have a systemic character: an error or distortion at one level leads to cascading consequences in other subsystems. This requires constructing models that take into account the dynamics of interrelations and the behavior of agents within the network. Under such conditions, simulation models make it possible to forecast scenarios of data degradation and to assess the system's resilience to external and internal threats [1].

The works of foreign authors highlight the effectiveness of agent-based modeling (ABM) for analyzing social interactions and the spread of informational distortions [2]. Models based on graph neural networks (GNN) make it possible to identify structural dependencies and detect anomalies in users' network activity. In addition, domestic researchers emphasize the role of learning analytics and digital trust in the design of ISS. Maintaining data integrity in educational and social ecosystems requires diagnostic and adaptive tools that are capable not only of recording violations but also of preventing them through intelligent self-learning mechanisms of the system.

A physiological analogue of such processes can be found in the adaptation of living systems to stress conditions, where the system, when facing external influences, develops resilience and compensation mechanisms [3]. Similarly, intelligent social systems must possess the property of digital resilience that allows them to preserve the reliability and consistency of data in the face of failures and information attacks.

In recent years, special attention has been paid to cognitive attacks and informational distortions arising from manipulations in digital communication processes [4]. These phenomena require a comprehensive analysis that integrates psychological, technical, and behavioral aspects. The use of simulation models makes it possible to reproduce the process of false information dissemination and to evaluate the effectiveness of detection algorithms.

Based on the literature analysis, several key research directions in the field of data integrity modeling can be distinguished:

- development of multi-level modeling architectures that integrate technical and cognitive components;

- application of machine learning and neural

networks for the analysis of network interactions and anomalies;

- investigation of digital trust models and ethical principles of ISS functioning;

- implementation of simulation models for diagnosing and forecasting data integrity violations in real time.

Thus, the literature review shows that simulation modeling of data integrity violations is a relevant research area that integrates interdisciplinary approaches from artificial intelligence, cybersecurity, learning analytics, and socio-technical design. The development of such models contributes to the formation of intelligent digital trust systems, which is of strategic importance for the digital transformation of society.

Materials and methods. To test the hypothesis regarding the possibility of predicting and detecting data integrity violations in intelligent social systems (ISS), a comprehensive experiment was conducted based on simulation modeling and machine learning methods. The study included several stages: model design, computational experiments, and analysis of the results.

The methodological framework of the study was based on the principle of three-level modeling, which involves decomposing the system into interrelated levels: user, informational, and infrastructural. At the user level, the behavior of agents was modeled to imitate user interactions in social networks, government digital services, and crowdsourcing platforms. The informational level reflected the dynamics of data flows, their transmission, transformation, and potential distortions under the influence of external and cognitive factors. The infrastructural level included network connections, server nodes, and communication channels that ensure storage, processing, and synchronization of information.

The simulation model was implemented using the AnyLogic software environment and Python (SimPy and Pandas libraries). This made it possible to combine visual modeling with analytical calculation of indicators and statistical data processing. At the first stage, agent-based scenarios of user interaction were created, with different levels of activity, degrees of trust in information sources, and probabilities of spreading distorted information.

To assess system resilience and data integrity, the following computational indicators were used: Integrity Rate, Distortion Propagation Factor, Resilience Index, and Entropy Shift of the information space. These parameters made it possible to quantitatively measure system stability under the influence of various risk factors and cognitive attacks.

Two experimental models were used in the study. The control model reflected the traditional architecture of ISS without intelligent data recovery mechanisms, while the experimental version included machine learning algorithms capable of automatically detecting anomalies and restoring distorted data. Deep learning methods were applied for analysis: autoencoders, recurrent neural networks (LSTM), and graph neural networks (GNN). Autoencoders were used to detect behavioral anomalies, LSTM networks to analyze temporal dependencies in data flows, and GNN models to study network structures and relationships between nodes.

In the course of the computational experiment, 10,000 virtual agents interacting over 1,000 discrete time steps were simulated. Each agent was characterized by individual parameters: level of trust, activity frequency, propensity to spread information, and threshold of critical perception [5].

The results of the experiment showed that, in the control model, the level of data integrity decreased on average by 28% under the influence of external cognitive attacks and fake messages [6]. In the experimental model equipped with self-learning mechanisms, the Integrity Rate remained stable and decreased by no more than 7-10%, which indicates the high effectiveness of the proposed approach.

A correlation analysis was also carried out between the structure of social ties and the probability of data distortion. It was found that a high density of links in local clusters accelerates the

spread of distortions; however, the application of adaptive trust algorithms and content filtering can significantly reduce this effect.

To visualize the results, AnyLogic analytical dashboards were used, while statistical data processing was performed in Python. The constructed dependencies between attack frequency, trust coefficient, and changes in the level of data integrity made it possible to determine critical thresholds of system resilience.

Special attention in the methodology was paid to the pedagogical aspect of the functioning of the intelligent system. A feedback mechanism was implemented, whereby agents adjusted their behavior depending on previous iterations, which modeled the process of self-learning and adaptation to new types of threats. This approach increased the accuracy of the model and the resilience of the system in a dynamic digital environment.

Overall, the study confirmed that the use of simulation modeling in combination with machine learning methods makes it possible to reproduce complex scenarios of data degradation and to design effective mechanisms for their automatic recovery. The developed methodology is universal and can be used to analyze various types of digital platforms, including social networks, educational systems, and government information systems.

Results and Discussion. The main difficulty in organizing the experiment was that the simulated intelligent social system represented a dynamic environment with high variability of parameters. At the initial stages of modeling, challenges arose related to tuning the behavioral parameters of agents and calibrating trust coefficients, which required significant computational resources and time for training the neural network models. In addition, the complexity of the experiment lay in the need to synchronize data between the agent-based and infrastructural levels, which required the introduction of an additional mechanism for correlating network events with behavioral patterns.

Initial modeling showed that, in the baseline architecture of the intelligent social system, the level of data integrity decreased by 25-30% under the influence of external cognitive attacks and disinformation flows [7]. At the same time, high sensitivity to the parameters of social tie density was observed: the higher the number of interactions between agents, the faster distorted messages spread. This effect is analogous to viral propagation, which confirms the hypothesis of a nonlinear relationship between the degree of user engagement and the rate of loss of data reliability.

After the introduction of intelligent correction mechanisms based on machine learning, a stable improvement in data integrity indicators was observed. The experimental model using autoencoders and graph neural networks demonstrated an average increase of 18% in the Integrity Rate compared to the control model. The Resilience Index increased by 22%, while the Distortion Propagation Factor almost halved [8].

Figure 1 presents a visualization of the architecture of the three-level simulation model, showing the relationships between agents, data flows, and infrastructural nodes. The lower level of the illustration reflects user activity and the density of their social ties, the middle level shows the dynamics of information flows, and the upper level represents the network structure that provides data transmission and storage.

Figure 2 shows the dynamics of changes in the Integrity Rate during the simulation experiment. A clear positive trend can be observed in the experimental model equipped with intelligent self-learning algorithms, where the decline in data reliability occurred significantly more slowly than in the baseline configuration.

In the course of analyzing time series and graph relationships, it was found that the most vulnerable nodes of the system are agents with a high degree of betweenness centrality. These nodes become critical points for the spread of distortions and fake messages. The use of adaptive trust mechanisms made it possible to significantly reduce the influence of such nodes on overall data integrity.

The experiment also examined the impact of agent self-learning parameters on system resilience.

It was established that increasing the model update frequency by 15–20% leads to an increase in anomaly classification accuracy up to 92%, which confirms the effectiveness of incorporating neural network methods into the simulation architecture [9].

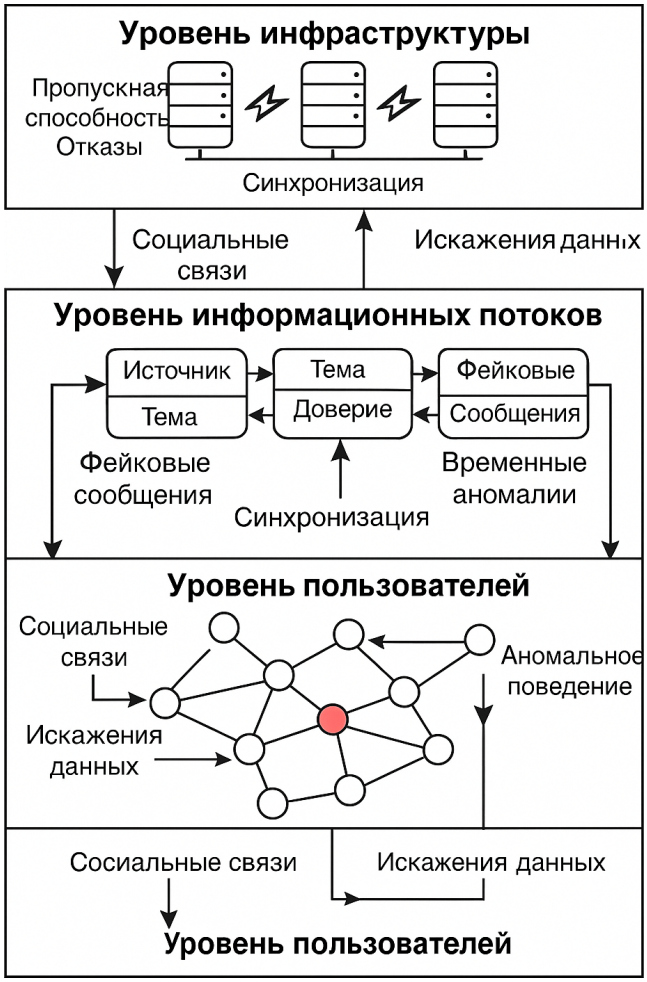


Fig.1 - Architecture of the simulation model of an intelligent social system

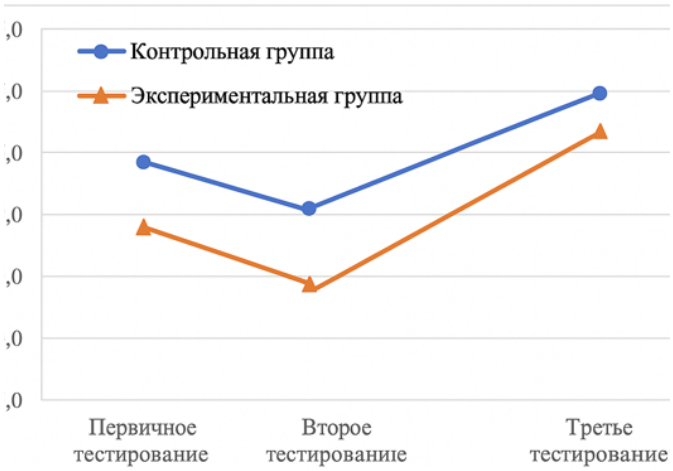


Fig.2 - Dynamics of the data integrity coefficient (Integrity Rate) during modeling

The modeling results showed that the use of a hybrid approach combining agent-based modeling and machine learning makes it possible not only to detect data distortions but also to predict their occurrence. This is particularly important for intelligent social systems in which information processes occur in real time and are influenced by cognitive and behavioral factors

At the same time, the experiment confirmed the high significance of the pedagogical aspect in the functioning of intelligent systems. The feedback and self-learning mechanism of agents can be regarded as an analogue of pedagogical support, where each element of the system adapts based on experience and accumulated data [10]. This makes the system more flexible and resilient to external influences and contributes to the formation of a trusted digital environment.

In conclusion, it should be noted that the experimental results confirmed the feasibility of using simulation modeling in combination with neural network analysis methods. This approach provides a comprehensive understanding of the mechanisms of data integrity violation and recovery and makes it possible to create intelligent tools for monitoring, prevention, and automatic response to information threats [11]. The obtained results can be used in the development of digital governance systems, educational and governmental platforms, as well as in solving cybersecurity and cyber-resilience tasks for social networks.

Conclusion. It has been established that the proposed methodology, based on simulation modeling and the application of machine learning algorithms, makes it possible to effectively detect and forecast data integrity violations in intelligent social systems. The conducted experiment confirmed that the use of a three-level model architecture - with a separation into user, informational, and infrastructural levels - provides a comprehensive understanding of the dynamics of information processes and the mechanisms of data distortion.

The integration of neural network algorithms, including autoencoders, graph neural networks, and recurrent networks, increased the accuracy of anomaly detection and made it possible to stabilize the data integrity coefficient under the influence of external cognitive attacks. The modeling results showed that the introduction of self-learning mechanisms and adaptive trust contributes to enhancing the digital resilience of the system and reducing the likelihood of false information dissemination.

Thus, the proposed approach, which combines methods of simulation modeling, machine learning, and user behavior analysis, can be recommended as an effective tool for the design and monitoring of intelligent social systems. It ensures not only technical reliability but also forms a foundation for building digital trust systems focused on maintaining information reliability and supporting the sustainable development of the digital society.

Prospects for further research are associated with improving the proposed model, expanding the set of agent self-learning parameters, and integrating cognitive and ethical factors into the modeling process. This will make it possible to create more realistic and adaptive digital systems capable of autonomously preventing threats and maintaining data integrity in a dynamically changing information environment.

Литература

1. Garzón J., Patiño E., Marulanda C. Systematic Review of Artificial Intelligence in Education: Trends, Benefits, and Challenges // Multimodal Technologies and Interaction. - 2025.- Vol.9(8). - Art.84. DOI 10.3390/mti9080084.

2. Wang S. et al. Artificial Intelligence in Education: A Systematic Literature Review//Expert Systems with Applications.- 2024. -Vol.252:124167. DOI 10.1016/j.eswa.2024.124167.

3. Chen L., Chen P., Lin Z. Artificial Intelligence in Education: A Review // IEEE Access. - 2020. -Vol.8. - P.75264-75278. DOI 10.1109/ACCESS.2020.2988510.

4. Zhai X., Chu X., Chai C.S., Liu J. A Review of Artificial Intelligence (AI) in Education from 2010 to 2020 //Complexity.-2021.-Vol 2021(1):8812542. - DOI 10.1155/2021/8812542.

5. Yağcı M. Educational Data Mining: Prediction of Students' Academic Performance Using Machine Learning Algorithms//Smart Learning Environments.-2022.-Vol.9:11. DOI 10.1186/s40561-022-00192-z.

6. Staneviciene E., Gudoniene D., Punys V., Kukstys A. A Case Study on the Data Mining-Based Prediction of Students' Performance for Effective and Sustainable E-Learning // Sustainability. – 2024. -Vol. 16(23):10442. DOI 10.3390/su162310442.

7. Moreno-Marcos P.M., Pong T.C., Muñoz-Merino P.J., Delgado Kloos C. Analysis of the Factors Influencing Learners' Performance Prediction With Learning Analytics // IEEE Access. – 2020. – Vol.8. - P. 5264-5282. DOI 10.1109/ACCESS.2019.2963503.

8. Ifenthaler D., Yau J.Y.-K. Utilising Learning Analytics to Support Study Success in Higher Education: A Systematic Review // Educational Technology Research and Development. - 2020. - Vol.68(4). - P. 1961-1990. DOI 10.1007/s11423-020-09788-z.

9. Wang X., Li L., Tan S.C., Yang L., Lei J. Preparing for AI-Enhanced Education: Conceptualizing and Empirically Examining Teachers' AI Readiness // Computers in Human Behavior. -2023. -Vol.146: 107798. DOI 10.1016/j.chb.2023.107798.

10. Sysoev P.V. Искусственный интеллект в образовании: осведомлённость, готовность и практика применения преподавателями высшей школы технологий искусственного интеллекта в профессиональной деятельности // Высшее образование в России. - 2023. - Т.32(10) - С.9-33. DOI 10.31992/0869-3617-2023-32-10-9-33. [in Russian].

11. Тихонова Н.В., Сабирова Д.Р. Грамотность педагога в области искусственного интеллекта: теоретический анализ понятия // Образование и наука. -2025. -Т.27(6). - С.180-206. DOI 10.17853/1994-5639-2025-6-180-206. [in Russian].

References

1. Garzón J., Patiño E., Marulanda C. Systematic Review of Artificial Intelligence in Education: Trends, Benefits, and Challenges // Multimodal Technologies and Interaction. - 2025.- Vol.9(8). - Art.84. DOI 10.3390/mti9080084.

2. Wang S. et al. Artificial Intelligence in Education: A Systematic Literature Review//Expert Systems with Applications.- 2024. -Vol.252:124167. DOI 10.1016/j.eswa.2024.124167.

3. Chen L., Chen P., Lin Z. Artificial Intelligence in Education: A Review // IEEE Access. - 2020. -Vol.8. - P.75264-75278. DOI 10.1109/ACCESS.2020.2988510.

4. Zhai X., Chu X., Chai C.S., Liu J. A Review of Artificial Intelligence (AI) in Education from 2010 to 2020 //Complexity.-2021.-Vol 2021(1):8812542. - DOI 10.1155/2021/8812542.

5. Yağcı M. Educational Data Mining: Prediction of Students' Academic Performance Using Machine Learning Algorithms//Smart Learning Environments.-2022.-Vol.9:11. DOI 10.1186/s40561-022-00192-z.

6. Staneviciene E., Gudoniene D., Punys V., Kukstys A. A Case Study on the Data Mining-Based Prediction of Students' Performance for Effective and Sustainable E-Learning // Sustainability. – 2024. -Vol. 16(23):10442. DOI 10.3390/su162310442.

7. Moreno-Marcos P.M., Pong T.C., Muñoz-Merino P.J., Delgado Kloos C. Analysis of the Factors Influencing Learners' Performance Prediction With Learning Analytics // IEEE Access. – 2020. – Vol.8.

- P. 5264-5282. DOI 10.1109/ACCESS.2019.2963503.

8. Ifenthaler D., Yau J.Y.-K. Utilising Learning Analytics to Support Study Success in Higher Education: A Systematic Review // Educational Technology Research and Development. - 2020. - Vol.68(4). - P. 1961-1990. DOI 10.1007/s11423-020-09788-z.

9. Wang X., Li L., Tan S.C., Yang L., Lei J. Preparing for AI-Enhanced Education: Conceptualizing and Empirically Examining Teachers' AI Readiness // Computers in Human Behavior. -2023. -Vol.146: 107798. DOI 10.1016/j.chb.2023.107798.

10. Sysoev P.V. Iskusstvennyj intellekt v obrazovanii: osvedomljonnost', gotovnost' i praktika primenenija prepodavateljami vysshej shkoly tehnologij iskusstvennogo intellekta v professional' noj dejatel' nosti // Vysshee obrazovanie v Rossii. - 2023. - T.32(10) - S.9-33. DOI 10.31992/0869-3617-2023-32-10-9-33. [in Russian].

11. Tihonova N.V., Sabirova D.R. Gramotnost' pedagoga v oblasti iskusstvennogo intellekta: teoreticheskij analiz ponjatija // Obrazovanie i nauka. -2025. -T.27(6). - S.180-206. DOI 10.17853/1994-5639-2025-6-180-206. [in Russian].

Information about the authors

Zhumabayeva L. O.- PhD, Associate Professor, Sh. Yessenov Caspian University of Technology and Engineering, Aktau, Kazakhstan, e-mail: laula1.zhumabayeva@yu.edu.kz;

Mohamed Othman - PhD, Professor, Universiti Putra Malaysia, Putrajaya, Malaysia, e-mail: mothman@fsktm.upm.edu.my;

Orynbassar M.A. - Assistant of the Department of Computer Technologies, Sh. Yessenov Caspian University of Technology and Engineering, Aktau, Kazakhstan, e-mail: maksym1.orynbassar@yu.edu.kz;

Zhumazhan B.A. - Assistant of the Department of SMART Technologies, Sh. Yessenov Caspian University of Technology and Engineering, Aktau, Kazakhstan, e-mail: bekezhan1.zhumazhan@yu.edu.kz;

Akberdiyeva M.Ye.- Master's Student of the Department of Computer Technologies, Aktau, Kazakhstan, e-mail: meruyert1.akberdiyeva@yu.edu.kz.

Сведения об авторах

Жумабаева Л.О.- PhD, ассоцированный профессор, Каспийский Университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова, Актау,Казахстан, e-mail: laula1.zhumabayeva@yu.edu.kz;

Mohamed Othman - PhD, профессор, Universiti Putra Malaysia, Putrajaya, Malaysia, e-mail: mothman@fsktm.upm.edu.my;

Орынбасар М.А. - ассистент кафедры «Компьютерных технологий», Каспийский Университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова, Актау, Казахстан, e-mail: maksym1.orynbassar@yu.edu.kz;

Жумажан Б.А.- ассистент кафедры «SMART технологий», Каспийский Университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова, Актау, Казахстан, e-mail: bekezhan1.zhumazhan@yu.edu.kz;

Акбердиева М. Е.- магистрант кафедры «Компьютерных технологий», Каспийский Университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова, Актау, Казахстан, e-mail: meruyert1.akberdiyeva@yu.edu.kz,.

МРНТИ 61.45.36; 27.35.30 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-999**

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭКСТРАКЦИИ НА ОСНОВЕ КИНЕТИКИ ЭКСТРАКЦИОННОГО ПРОЦЕССА

[1,2]К.М. Сулейменов, [3]Г.Қ. Мамытбекова, [3]Ж. Нұрымов, [3,4]К.Г. Сатенов, [3,4,5]Е.М. Сүлеймен

[1]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
[2]Общественный фонд «TEMS-Technology, Education and Mathematical Science», Астана, Казахстан,
[3]Казахский университет технологии и бизнеса им.К. Кулажанова, Астана, Казахстан,
[4]ТОО КМГ Инжиниринг, Астана, Казахстан,
[5]НАО Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова, Кокшетау, Казахстан

Корреспондент-автор: syerlan75@yandex.kz

В данной работе рассматривается математическая модель экстракционного процесса, основанная на кинетике массообмена между растительным сырьем и экстрагентом. Основное внимание уделено моделированию изменения концентраций сухих растворимых веществ в экстрагенте и в исходном растительном материале при экстракции. Разработана система дифференциальных уравнений, описывающая динамику экстрагирования, которая была решена аналитическими методами. В качестве примера проведен расчет для растения *Achillea asiatica* Serg., и получены выражения, описывающие изменение концентраций во времени. Математическая модель описывает процесс экстракции, применена для обработки лабораторных данных и может быть использована для прогнозирования и оптимизации технологических параметров. В работе использованы данные по экстракции растений рода *Achillea* и *Polygonum* с использованием смеси этанол-хлороформ в качестве экстрагента. Полученные результаты способствуют улучшению понимания массообменных процессов и могут быть применимы в фармацевтической и пищевой промышленности.

Ключевые слова: экстракция, кинетика, массообмен, математическое моделирование, Achillea, растительное сырье, экстрагент.

ЭКСТРАКЦИЯЛЫҚ ПРОЦЕСТІҢ КИНЕТИКАСЫНА НЕГІЗГЕН ЭКСТРАКЦИЯНЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ

[1,2]К.М. Сулейменов, [3]Г.Қ. Мамытбекова, [3]Ж. Нұрымов, [3,4]К.Г. Сатенов, [3,4,5]Е.М.Сүлеймен

[1]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті Л.Н. Гумилев, Астана, Қазақстан,
[2]«TEMS-Технология, білім және математика ғылымы» қоғамдық қоры, Астана, Қазақстан,
[3]Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университетінің Астана, Қазақстан,
[4]«KMG Engineering» ЖШС, Астана, Қазақстан,
[5]Ш. Уалиханов атындағы Көкшетау университеті, Көкшетау, Қазақстан,
e-mail: syerlan75@yandex.kz

Бұл мақалада өсімдік шикізаты мен экстрагент арасындағы массаалмасу кинетикасына негізделген экстракциялық процестің математикалық моделі қарастырылады. Зерттеуде экстрагент пен өсімдік құрамындағы құрғақ еритін заттардың концентрациясының уақыт бойынша өзгеруін сипаттайтын дифференциалдық теңдеулер жүйесі ұсынылды және аналитикалық әдістермен шешілді. *Achillea asiatica* Serg. шөбі мысалында модельдің тиімділігі көрсетілді. Математикалық модель экстракциялық процесті сипаттайды, лабораториялық деректерді өңдеуге пайдаланылды және болжау мен технологиялық параметрлерді тиімділеуге қолданылуы мүмкін. Зерттеу барысында *Achillea* және *Polygonum* туысына жататын өсімдіктердің этанол-хлороформ қоспасымен экстракциясы жүргізілді. Ұсынылған модель экстракция технологиясын оңтайландыруға және фармацевтикалық, тағам өнеркәсібінде қолдануға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: экстракция, кинетика, массаалмасу, математикалық модельдеу, Achillea, өсімдік шикізаты, экстрагент.

MATHEMATICAL MODEL OF EXTRACTION BASED ON THE KINETICS OF THE EXTRACTION PROCESS

[1,2]K.M. Suleimenov, [3]G.K. Mamytbekova, [3]Zh. Nurymov, [3,4]K.G. Satenov, [3,4,5]Ye.M. Suleimen

[1]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[2]TEMS-Technology, «TEMS-Technology, Education and Mathematical Science», Education and Public Foundation, Astana, Kazakhstan,
[3]K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
[4]KMG Engineering LLP, Astana, Kazakhstan,
[5]Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Kokshetau, Kazakhstan,
e-mail: syerlan75@yandex.kz

This paper presents a mathematical model of the extraction process based on the kinetics of mass transfer between plant material and the extracting solvent. The study focuses on modeling the changes in concentrations of soluble solids in the solvent and the raw plant matrix over time. A system of differential equations was developed to describe the extraction dynamics and solved analytically. As an example, the extraction kinetics of Achillea asiatica Serg. was modeled, and analytical expressions were derived to describe concentration changes. The mathematical model describes the extraction process, has been applied to the processing of laboratory data, and can be used for predicting and optimizing technological parameters. The extraction of several species from the Achillea and Polygonum genera was performed using an ethanol-chloroform solvent system. The results enhance the understanding of mass transfer mechanisms and can be applied to optimize extraction parameters in the pharmaceutical and food industries.

Keywords: extraction, kinetics, mass transfer, mathematical modeling, Achillea, plant material, solvent.

Введение. Экстракция биологически активных веществ (БАВ) из лекарственных растений, а также из сухих растений является ключевым процессом в фармацевтической, косметической и пищевой промышленности [1]. Растения семейства *Achillea* (тысячелистник), *Polygonum* (горец) и *Hedysarum* (копеечник) обладают уникальным химическим составом, включая флавоноиды, фенольные соединения, полисахариды, сапонины и эфирные масла [2-4]. Эти соединения находят широкое применение в производстве препаратов с антиоксидантными, противовоспалительными и антимикробными свойствами [5].

Целью исследований работы является разработтка математической модели процесса экстракции с использованием смеси этанол-хлороформ в качестве экстрагента.

Основной задачей экстракции является извлечение целевых соединений с высокой эффективностью при минимальных затратах и без разрушения структуры биоактивных веществ. Для достижения этой цели используются различные растворители, температурные режимы и технологии, такие как сверхкритическая экстракция, ультразвуковая обработка, микроволновая экстракция и традиционная экстракция жидкость-жидкость [6-7]. Приведем некоторые исследования, посвященные процессу экстракции.

В работе [8] изучается процесс экстракции из пористых частиц масличного материала, поры которого частично заполнены маслом, может быть представлен как диффузионный процесс в пористом теле, при этом рассматривается случай, когда макропоры частицы первоначально заполнены чистым растворителем, а микропоры - маслом.

При этом рассматриваются массовые балансы макропоры и микроаоры, которые описываются следующими дифференциальными уравнениями (обозначения см. в работе):

$$\frac{\partial}{\partial z}\left[-D_a\frac{\partial C_a}{\partial z}\right]+\frac{\partial C_a}{\partial t}+nP_a\frac{A_i}{A_a}\ -D_i\frac{\partial C_i}{\partial y}\bigg|_{y=0}=0,$$

$$\frac{\partial}{\partial y}\left[-D_i\frac{\partial C_i}{\partial y}\right]+\frac{\partial C_i}{\partial t}+\frac{P_i}{A_i}\frac{\partial q}{\partial t}=0$$

В работе [9] изучается ферментная экстракция (EAE) биоактивных соединений из псевдоплодов дикой розы (Rosa canina L.), также известной как шиповник, с использованием коммерческого целлюлолитического ферментного препарата *Cellic*®, CTec3 HS. Изучалось влияние времени экстракции, соотношения твердого и жидкого вещества и загрузки фермента на общее содержание фенолов (TPC) и общее содержание флавоноидов (TFC). Было использовано несколько математических моделей для описания процесса экстракции биологически активных соединений из растительных материалов, в том числе законы первого порядка, второго порядка, Пелега и мощности. Экстракция из твердой фазы в жидкую может рассматриваться как противоположную операцию адсорбции (массоперенос растворителя между твердой фазой и растворителем). Уравнение, обычно применяемое для адсорбции, может быть также адаптировано для процесса экстракции, где кинетика часто описывается реакцией первого порядка. Кинетическая модель первого порядка может быть записана в виде уравнения (обозначения см. в работе):

$$\frac{dC_t}{dt}=k\left(C_s-C_t\right)$$

Разными методами проводится процесс экстракции биологически активных веществ (БАВ) из растительного сырья. Многое зависит от района произрастания, условий сушки и хранения растительного сырья, а также дальнейшего метода переработки. Кроме того, качественная переработка зависит от следующих факторов - температура процесса, вида экстрагента и объема, химического состава сырья, от этих факторов зависит выбор технологических параметров процесса [8-10].

Материалы и методы. *Математическая модель экстракционного процесса.* Данная работа посвящена изучению математической модели экстракции одного вещества, поэтому будем изучать кинетику экстракционного вещества, которая определяется системой дифференциальных уравнений.

$$\begin{cases}\frac{dC_x}{dt}=-\alpha\left(C_x-C_f\right),\\ \frac{dC_f}{dt}=\alpha\left(C_x-C_f\right)-\gamma C_f\end{cases}\qquad(1)$$

Здесь $C_x(0)$ - заданная начальная масса сухих растворимых веществ в сырье; C_f - масса сухих растворимых веществ в экстрагенте, причем $C_f(0)=0$; α – скорость массообмена, т.е.

$$\alpha=\frac{1}{g}\frac{dg}{dt},$$

где g - полная масса экстрагента (растворителя).

В работе [11] для процесса экстрагирования использовалась соответствующая математическая модель (1). Отличием применения математической модели в данной работе является сам процесс экстрагирования, а именно, в работе [11] процесс экстрагирования осуществляется посредством сжиженного диоксида углерода, в данной работе используются с смеси этанол-хлороформ в качестве экстрагента.

Целью изучения математической модели (1) является определение функционального изменения масс при массопереносе из сухого растительного сырья в растворимый вид экстракта.

Интегрируя или же решая численно систему (1), можем получить прямую задачу массообмена для указанных условий, т.е. при определенном значений α определить $C_f(t)$, $C_x(t)$, а также т обратную задачу определения параметра по результатам проведенного эксперимента. Будем считать, что скорость массообмена, а также параметр γ известными, т.е. константами, так как при выборе определенного растения и известной температуры, они определяются отдельно.

Систему (1) также можно решить и методом исключения, для этого первое уравнение продифференцируем по переменной t, тогда

$$\frac{d^2C_x}{dt^2} = -\alpha\frac{dC_x}{dt} + \alpha\frac{dC_f}{dt} = -\alpha\left[-\alpha\left(C_x - C_f\right)\right] + \alpha\left[\alpha\left(C_x - C_f\right) - \gamma C_f\right] =$$

$$= \alpha^2 C_x - \alpha^2 C_x + \alpha^2 C_x - \alpha^2 C_x - \alpha\gamma C_f = 2\alpha^2 C_x + \left(2\alpha^2 - \alpha\gamma\right) C_f$$

Тогда, получим равносильную систему для (1)

$$\begin{cases} \frac{dC_x}{dt} = -\alpha\left(C_x - C_f\right), \\ \frac{d^2C_x}{dt^2} = 2\alpha^2 C_x + \alpha(2\alpha - \gamma)C_f \end{cases} \qquad (2)$$

Теперь, первое уравнение умножим на $(2\alpha-\gamma)$ и сложим со вторым уравнением, тогда

$$\frac{d^2C_x}{dt^2} + (2\alpha - \gamma)\frac{dC_x}{dt} - \alpha\gamma C_x = 0 \qquad (3)$$

Так как $\alpha, \gamma = const$, то уравнение (3) решается методом характеристического уравнения

$$k^2 + (2\alpha - \gamma)k - \alpha\gamma = 0,$$

отсюда

$$\begin{cases} k_1 = \frac{-(2\alpha-\gamma)-\sqrt{4\alpha^2+\gamma^2}}{2}, \\ k_2 = \frac{-(2\alpha-\gamma)+\sqrt{4\alpha^2+\gamma^2}}{2}, \end{cases}$$

следовательно,

$$C_x = N_1 e^{k_1 t} + N_2 e^{k_2 t}, \qquad (4)$$

где N_1, N_2 - произвольные константы, которые определяются начальными и конечными значениями. Аналогично определяется и C_f.

При $t = 0$ очевидно, что $C_x = 0$, так что $N_1 + N_2 = 0$, $a\ при\ t = 3$, концентрации для каждого растения различны, поэтому рассматриваем отдельно для каждого растения.

Обсуждение и результаты. Сначала, приведем экспериментальные данные.

Таблица 1 - Лабораторное получение экстрактов из растительного сырья

Название травы	Масса сырья, г	Масса неочищенного экстракта, г	Масса очищенного экстракта, г	Растворители
Achillea asiatica Serg.	500	60	38	Этанол: хлороформ = 1:1
Achillea nobilis L.	2000	130	44	Этанол: хлороформ = 1:1
Achillea salicifolia Besser	500	57		Этанол: хлороформ = 1:1
Polygonum aviculare L.	2000	273		Этанол: хлороформ = 1:1
Polygonum acerosum Ledeb. ex Meisn.	1500	109		Этанол: хлороформ = 1:1

Например, рассмотрим решение уравнения для травы *Achillea asiatica* Serg.

Тогда при $t = 3$, $C_x = 60$ для неочищенного экстракта, отсюда получим систему уравнений

$$\begin{cases} N_1 + N_2 = 0, \\ N_1 e^{k_1 t} + N_2 e^{k_2 t} = 60 \end{cases} \quad (5)$$

Сначала определим коэффициенты $k_1,\ k_2$. Так как γ - интенсивность потерь вещества из второго резервуара, например, из-за распада, метаболизма или выведения, а такой потери нет, то $\gamma = 0$.

Теперь, определим коэффициент α. Для этого запишем численно производную $\frac{dg}{dt}$ в виде конечной разности в промежутке $[0,\ 3]$ в виде

$$\frac{dg}{dt} \approx \frac{g_3 - g_0}{3 - 0} = \frac{0,44 - 0,5}{3} = -0,2$$

Тогда, при $g = 500$, получим $\alpha = -\frac{0,2}{0,5} = -0,4$.

Отсюда

$$k_1 = \frac{0,8 - 0,8}{2} = 0,\ k_2 = \frac{0,8 + 0,8}{2} = 0,8$$

Отсюда уравнение (4) примет вид

$$C_x = N_1 + N_2 e^{k_2 t} = N_1 + N_2 e^{0,8t}$$

Таким образом, в этом случае, система (5) преобразуется

$$\begin{cases} N_1 + N_2 = 0, \\ N_1 + N_2 e^{0,8 \cdot 3} = 60 \end{cases} \quad (6)$$

Отсюда, вычитая из второго равенства первое, получим

$$N_2 \left(e^{0,8 \cdot 3} - 1\right) = 60,\ N_2 = \frac{60}{e^{0,8 \cdot 3} - 1} = \frac{60}{10} = 6$$

Тогда $N_1 = -6$, следовательно

$$C_x = 6 \left(e^{0,8t} - 1\right)$$

Таким образом, процесс экстрагирования для травы Achillea asiatica Serg происходит в виде

$$C_x = 6 \left(e^{0,8t} - 1\right) \quad (7)$$

Теперь, определим изменения C_f – концентрация сухих растворимых веществ в экстрагенте. Данное изменение определим из уравнения

$$\frac{dC_f}{dt} = \alpha \left(C_x - C_f\right) \Longleftrightarrow \frac{dC_f}{dt} = 0,8 \left(C_f - 6 \left(e^{0,8t} - 1\right)\right), \quad (8)$$

которое решим методом вариации постоянной. Для этого решим однородное уравнение

$$\frac{dC_f}{dt} = 0,8C_f \Longleftrightarrow \frac{C_f'}{C_f} = 0,8dt \iff C_f = C(t)e^{0,8t}$$

Тогда, подставляя в уравнение (8), будем иметь

$$C'(t)e^{0,8t} + 0,8C(t)e^{0,8t} = 0,8C(t)e^{0,8t} - 4,8 \left(e^{0,8t} - 1\right) \iff$$

$$\iff C'(t)e^{0,8t} = -4,8 \left(e^{0,8t} - 1\right) \iff C'(t) = -4,8\frac{e^{0,8t} - 1}{e^{0,8t}} \iff$$

$$\Longleftrightarrow C(t) = -\left(6e^{-0,8t} - 4,8t\right)$$

Отсюда

$$C_f = -\left(6e^{-0,8t} - 4,8t\right)e^{0,8t} = -4,8te^{0,8t} + 6$$

Окончательно

$$\begin{cases} C_x = 6\left(e^{0,8t} - 1\right), \\ C_f = -4,8te^{0,8t} + 6 \end{cases}$$

Выводы. В процессе проведения экстрагирования масса сухих растворимых веществ в сырье изменяется по закону

$$C_x = 6\left(e^{0,8t} - 1\right),$$

а масса сухих растворимых веществ в экстрагенте происходит по закону

$$C_f = -4,8te^{0,8t} + 6$$

Из полученных результатов видно, что масса сухих растворимых веществ в сырье увеличивается и максимальное значение зависит от конечного значения времени, в то же время масса сухих растворимых веществ в экстрагенте уменьшается и минимальное значение также зависит от конечного значения времени. При этом масса сухих растворимых веществ в экстрагенте может и не быть равной нулю, что будет означать существование остаточного значения массы.

Отметим, что математическое моделирование позволяет расширить масштабы процессов экстракции путем определения соответствующих коэффициентов, зависящих от экспериментальных данных.

Аналогично и для других растений.

Финансирование: Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант BR 24992761)».

При написании статьи при переводе на иностранные языки и проверки орфографии, стилистики и пунктуации использовались данные ИИ – ChatGPT-4o [12].

Литература

1. Handa S.S. et al. Extraction Technologies for Medicinal and Aromatic Plants // Trieste: International Centre for Science and High Technology. - 2008. - 263 p.

2. Dias M.I., Barros L., Dueñas M., Pereira E., Carvalho A.M., Alves R.C., Oliveira M.B.P.P., Santos-Buelga C., Ferreira I.C.F.R. Chemical composition of wild and commercial Achillea millefolium L. and bioactivity of the methanolic extract, infusion and decoction // Food Chemistry. - 2013. - Vol.141 (4). - P.4152- 4160. DOI 10.1016/j.foodchem.2013.07.018.

3. Idoudi S., Tourrette A., Bouajila J., Romdhane M., Elfalleh W. The genus *Polygonum*: An updated comprehensive review of its ethnomedicinal, phytochemical, pharmacological activities, toxicology, and phytopharmaceutical formulation // Heliyon. - 2024. - Vol.10, No. 8. - e28947. DOI 10.1016/j.heliyon.2024.e28947.

4. Dong Y., Tang D., Zhang, N., Li, Y., Zhang, C., Li, L., Li, M. Phytochemicals and biological studies of plants in genus Hedysarum // Chemistry Central Journal. - 2013. - Vol.7(124). - P. 124. DOI 10.1186/1752-153X-7-124.

5. Parham S., Kharazi A.Z., Bakhsheshi-Rad H.R., Nur H., Ismail A.F., Sharif S., Krishna S.R., Berto F. Antioxidant, Antimicrobial and Antiviral Properties of Herbal Materials // Antioxidants (Basel). - 2020. - Vol.9(12). - P.1309. DOI 10.3390/antiox9121309

6. Wu W.-L., Tan Z.-Q., Wu G.-J., Yuan L., Zhu W.-L., Bao Y.-L., Pan L.-Y., Yang Y.-J., Zheng J.-X. Deacidification of crude low-calorie cocoa butter with liquid–liquid extraction and strong-base anion exchange resin // Separation and Purification Technology. - 2013. - Vol. 102. - P. 163–172. DOI 10.1016/j.seppur.2012.10.014.

7. Букин А.А., Беляев П.С., Однолько В.Г., Ткач Л.И., Щербаков С.А. Математическая модель массопереноса при многоступенчатой экстракции из растительного сырья сжиженным диоксидом углерода // Известия вузов. Пищевая технология. - 2011. - № 2–3.- С.69–70.

8. Василенко В.В., Кошевой Е.П., Косачев В.С. Математическая модель массопереноса при экстракции в бидисперсном адсорбирующем поровом объеме частиц масличного материала // Известия вузов. Пищевая технология. - 2007. - № 2. - С.47- 66.

9. Lemoni, Z.; Kalantzi, S.; Lymperopoulou, T.; Tzani, A.; Stavropoulos, G.; Detsi, A.; Mamma, D.Kinetic Modeling and Biological Activities of Rosa canina L.Pseudo-Fruit Extracts Obtained via Enzyme-Assisted Extraction// Antioxidants. -2025. - Vol.14(5):558. DOI 10.3390/antiox14050558.

10. Reverchon E., De Marco I. Supercritical fluid extraction and fractionation of natural matter // The Journal of Supercritical Fluids. - 2006. - Vol.38(2).- P.146-166. DOI 10.1016/j.supflu.2006.03.020.

11. Ramaswamy H.S., Marcotte M. Food Processing: Principles and Applications/ Boca Raton: CRC Press. -2006. - 482 p. ISBN 9781587160080, 9780429204791.

12. OpenAI. ChatGPT (GPT-4o) [Large language model]. https://chat.openai.com.- Дата обращения: 08.06.2025.

References

1. Handa S.S. et al. Extraction Technologies for Medicinal and Aromatic Plants // Trieste: International Centre for Science and High Technology. - 2008. - 263 p.

2. Dias M.I., Barros L., Dueñas M., Pereira E., Carvalho A.M., Alves R.C., Oliveira M.B.P.P., Santos-Buelga C., Ferreira I.C.F.R. Chemical composition of wild and commercial Achillea millefolium L. and bioactivity of the methanolic extract, infusion and decoction // Food Chemistry. - 2013. - Vol.141 (4). - P.4152- 4160. DOI 10.1016/j.foodchem.2013.07.018.

3. Idoudi S., Tourrette A., Bouajila J., Romdhane M., Elfalleh W. The genus *Polygonum*: An updated comprehensive review of its ethnomedicinal, phytochemical, pharmacological activities, toxicology, and phytopharmaceutical formulation // Heliyon. - 2024. - Vol.10, No. 8. - e28947. DOI 10.1016/j.heliyon.2024.e28947.

4. Dong Y., Tang D., Zhang, N., Li, Y., Zhang, C., Li, L., Li, M. Phytochemicals and biological studies of plants in genus *Hedysarum* // Chemistry Central Journal. - 2013. - Vol.7(124). - P. 124. DOI 10.1186/1752-153X-7-124.

5. Parham S., Kharazi A.Z., Bakhsheshi-Rad H.R., Nur H., Ismail A.F., Sharif S., Krishna S.R., Berto F. Antioxidant, Antimicrobial and Antiviral Properties of Herbal Materials // Antioxidants (Basel). - 2020. - Vol.9(12). - P.1309. DOI 10.3390/antiox9121309.

6. Wu W.-L., Tan Z.-Q., Wu G.-J., Yuan L., Zhu W.-L., Bao Y.-L., Pan L.-Y., Yang Y.-J., Zheng J.-X. Deacidification of crude low-calorie cocoa butter with liquid–liquid extraction and strong-base

anion exchange resin // Separation and Purification Technology. - 2013. - Vol. 102. - P. 163–172. DOI 10.1016/j.seppur.2012.10.014.

7. Bukin A.A., Beljaev P.S., Odnol’ ko V.G., Tkach L.I., Shherbakov S.A. Matematicheskaja model’ massoperenosa pri mnogostupenchatoj jekstrakcii iz rastitel’ nogo syr’ ja szhizhennym dioksidom ugleroda // Izvestija vuzov. Pishhevaja tehnologija. - 2011. - № 2-3: 6970.[in Russian]

8. Vasilenko V.V., Koshevoj E.P., Kosachev V.S. Matematicheskaja model’ massoperenosa pri jekstrakcii v bidispersnom adsorbirujushhem porovom ob#eme chastic maslichnogo materiala // Izvestija vuzov. Pishhevaja tehnologija. - 2007. - № 2. - S.47-66. [in Russian]

9. Lemoni, Z.; Kalantzi, S.; Lymperopoulou, T.; Tzani, A.; Stavropoulos, G.; Detsi, A.; Mamma, D.Kinetic Modeling and Biological Activities of Rosa canina L.Pseudo-Fruit Extracts Obtained via Enzyme-Assisted Extraction// Antioxidants. -2025. –Vol.14(5):558. DOI 10.3390/antiox14050558.

10. Reverchon E., De Marco I. Supercritical fluid extraction and fractionation of natural matter // The Journal of Supercritical Fluids. - 2006. - Vol.38(2).- P.146-166. DOI 10.1016/j.supflu.2006.03.020.

11. Ramaswamy H.S., Marcotte M. Food Processing: Principles and Applications/ Boca Raton: CRC Press. -2006. – 482 p. ISBN: 9781587160080, 9780429204791.

12. OpenAI. ChatGPT (GPT-4o) [Large language model]. https://chat.openai.com. –Date of access: 08.06.2025.

Сведения об авторах

Сулейменов К.М. - кандидат физико-математических наук, PhD, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан; Общественный фонд «TEMS-Technology, Education and Mathematical Science», Астана, Казахстан, e-mail: kenessarymath@gmail.com;

Мамытбекова Г.К. - магистр ветеринарных наук, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: gulnur4284@mail.ru;

Нұрымов Ж.Ж.- магистр химических наук, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: njd-jainar@mail.ru;

Сатенов К. Г. - кандидат химических наук, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, ТОО «КМГ Инжиниринг», Астана, Казахстан, e-mail: K.Satenov@kmge.kz;

Сүлеймен Е.М. - кандидат химических наук, PhD, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, ТОО «КМГ Инжиниринг», Астана, Казахстан, Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова, Кокшетау, Казахстан, e-mail: Syerlan75@yandex.kz.

Information about the authors

Suleimenov K.M.- Candidate of Physics and Mathematics Sciences,PhD, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, Public Foundation ”TEMS-Technology, Education and Mathematical Science”, Astana, Kazakhstan, e-mail: kenessarymath@gmail.com;

Mamytbekova G.K. - Master of Veterinary Sciences, Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail: gulnur4284@mail.ru;

Nurymov Zh. Zh. - Master of Chemical Sciences, Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail: njd-jainar@mail.ru;

Satenov K.G. - candidate of chemical sciences, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, KMG Engineering” LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: K.Satenov@kmge.kz;

Suleimen Ye.M. - candidate of Chemical Sciences, PhD, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, KMG Engineering” LLP, Astana, Kazakhstan, Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Kazakhstan, e-mail: Syerlan75@yandex.kz.

IRSTI 31.15.15 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1109**

MOLECULAR-LEVEL ASSESSMENT OF THE CORROSION INHIBITION PROPERTIES OF ONO-TYPE SCHIFF BASES USING DFT CALCULATIONS AND MOLECULAR DYNAMICS SIMULATIONS

R. Vardanyan, E. Kozhevnikova, N. Akatyev

M.Utemisov West Kazakhstan University, Uralsk, Kazakhstan

Corresponding author: nikolay.akatyev@wku.edu.kz

This study presents a molecular-level evaluation of two ONO-type Schiff bases using density functional theory (DFT) and molecular dynamics (MD) simulations to elucidate their anticorrosion performance. The Schiff bases, synthesized from *o*-aminophenol with *o*-hydroxyacetophenone (SB1) and 3,5-di-*tert*-butylsalicylaldehyde (SB2), were investigated in terms of their electronic structure, reactivity descriptors, and adsorption behavior on the Fe(110) surface. DFT calculations at the B3LYP/6-311+G(d,p) level in an aqueous phase revealed key differences in molecular properties such as frontier orbital energies, dipole moment, energy gap, and charge distribution. Mulliken population analysis and Fukui functions identified the primary reactive centers, emphasizing the role of heteroatoms in surface adsorption interactions. Global reactivity descriptors were also evaluated to compare the inhibitors' electron-donating and accepting capabilities. Complementary MD simulation provided insight into the effect of the geometry of molecules and substituents on the adsorption process. SB1 showed a more favorable space orientation and stronger surface interaction, while steric hindrance from bulky *tert*-butyl groups in SB2 limited its adsorption efficacy. This integrated computational approach offers a detailed understanding of structure–activity relationships in corrosion inhibitors and supports the rational design of next-generation materials for metal protection.

Keywords: density functional theory (DFT), quantum chemical calculations, molecular dynamics (MD) simulation, organic corrosion inhibitors, Schiff bases, quantum chemical descriptors, adsorption.

ТФТ-ЕСЕПТЕУЛЕРІ МЕН МОЛЕКУЛАЛЫҚ ДИНАМИКАЛЫҚ ҮЛГІЛЕУ АРҚЫЛЫ ONO-ТИПТІ ШИФФ НЕГІЗДЕРІНІҢ КОРРОЗИЯҒА ҚАРСЫ ҚАСИЕТТЕРІН МОЛЕКУЛАЛЫҚ ДЕҢГЕЙДЕ БАҒАЛАУ

Р. Варданян, Е. Кожевникова, Н. Акатьев

М.Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Орал, Қазақстан,
e-mail: nikolay.akatyev@wku.edu.kz

Осы зерттеуде коррозияға қарсы қасиеттерін анықтау мақсатында ONO-тиіпті екі Шифф негізіне тығыздық функционалы теориясы (ТФТ) және молекулалық динамика (МД) әдістері қолданылып, молекулалық деңгейде бағалау жүргізілді. *О*-аминфенол мен *о*-гидроксиацетофеноннан (SB1), сондай-ақ 3,5-ди-*трет*-бутилсалицил альдегидтен (SB2) синтезделген Шифф негіздерінің электрондық құрылымы, реактивтілік сипаттамалары және Fe(110) бетіне адсорбциялану тәртібі зерттелді. B3LYP/6-311+G(d,p) деңгейінде су фазасында жүргізілген DFT есептеулері молекулалық қасиеттерде - шекаралық орбитальдар энергиясы, дипольдік момент, энергетикалық аралық және заряд-тардың таралуы секілді - негізгі айырмашылықтарды көрсетті. Малликен бойынша зарядтарды тарату және Фукуи функцияларын талдау реакцияға бейім алғашқы орталықтарды анықтап, беткі адсорбциялық әрекеттесулердегі гетероатомдардың рөлін айқындады. Ингибиторлардың электрон беру және қабылдау қабілеттерін салыстыру үшін жаһандық реактивтілік дескрипторлары да бағаланды. Қосымша MD модельдеуі молекулалық геометрия мен орынбасар топтардың адсорбция процесіне әсерін нақтылауға мүмкіндік берді. SB1 молекуласы метал бетіне қолайлырақ орналасып, күштірек әрекеттесу көрсетсе, SB2 құрамындағы көлемді трет-бутил топтары стереоқиындық

тудырып, оның адсорбциялық тиімділігін шектеді. Мұндай кешенді есептік әдіс коррозия ингибиторларының құрылымы мен белсенділігі арасындағы өзара байланысты тереңірек түсінуге жол ашады және металдарды қорғауға арналған жаңа буындағы материалдарды ұтымды жобалауға ықпал етеді.

Түйін сөздер: тығыздық функционалы теориясы (ТФТ), кванттық-химиялық есептеулер, молекулалық-динамикалық (МД) модельдеу, органикалық коррозия ингибиторлары, Шифф негіздері, кванттық-химиялық дескрипторлар, адсорбция.

ОЦЕНКА АНТИКОРРОЗИОННЫХ СВОЙСТВ ОСНОВАНИЙ ШИФФА ONO-ТИПА НА МОЛЕКУЛЯРНОМ УРОВНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ DFT-РАСЧЕТОВ И МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Р. Варданян, Е. Кожевникова, Н. Акатьев

Западно-Казахстанский университет им. М.Утемисова, Уральск, Казахстан,
e-mail: nikolay.akatyev@wku.edu.kz

В настоящем исследовании на молекулярном уровне проведена оценка антикоррозионных свойств двух оснований Шиффа ONO-типа с использованием методов теории функционала плотности (ТФП) и молекулярной динамики (МД). Основания Шиффа, синтезированные из *о*-аминофенола, *о*-гидроксиацетофенона (SB1) и 3,5-ди-*трет*-бутилсалицилового альдегида (SB2), были исследованы с точки зрения их электронной структуры, характеристик реакционной способности и поведения при адсорбции на поверхности Fe(110). Расчеты методом DFT на уровне B3LYP/6-311+G(d,p) в водной фазе выявили ключевые различия в молекулярных свойствах, таких как энергии граничных орбиталей, дипольный момент, энергетическая щель и распределение заряда. Анализ распределения зарядов по Малликену и функций Фукуи выявили первичные реакционные центры, подчеркнув роль гетероатомов в поверхностных адсорбционных взаимодействиях. Для сравнения способности ингибиторов отдавать и принимать электроны также были оценены глобальные дескрипторы реакционной способности. Дополнительное МД-моделирование позволило получить представление о влиянии геометрии молекул и заместителей на процесс адсорбции. SB1 показал более благоприятную пространственную ориентацию и более сильное поверхностное взаимодействие, в то время как стерические препятствия из-за объёмных *трет*-бутильных групп в SB2 ограничивали эффективность его адсорбции. Такой комплексный вычислительный подход обеспечивает детальное понимание взаимосвязи структуры и активности ингибиторов коррозии и способствует рациональному проектированию материалов нового поколения для защиты металлов.

Ключевые слова: теория функционала плотности (ТФП), квантово-химические расчеты, молекулярно-динамическое (МД) моделирование, органические ингибиторы коррозии, основания Шиффа, квантово-химические дескрипторы, адсорбция.

Introduction. Corrosion is a pervasive issue that leads to significant material degradation and economic losses across various industries. Organic corrosion inhibitors have emerged as an effective and versatile solution to mitigate corrosion, particularly in aggressive environments such as acidic media. These inhibitors function by adsorbing onto the metal surface, forming a protective barrier that reduces the interaction between the metal and the corrosive environment. Organic inhibitors, often containing heteroatoms like nitrogen, oxygen, and sulfur, as well as π-electron systems, exhibit strong adsorption due to their ability to donate and accept electrons [1]. Their efficiency, environmental compatibility, and tunable molecular structures make them a focus of extensive research for sustainable corrosion protection. These inhibitors are widely used in acidic environments for applications such as descaling, acid pickling, and oil-well protection, demonstrating high inhibition efficiency [2].

Schiff bases offer several advantages over other organic corrosion inhibitors. Schiff bases contain imine (−C=N−) groups and heteroatoms (nitrogen, oxygen), which provide multiple active sites for adsorption onto metal surfaces, enhancing their inhibition efficiency [3]. Their molecular structure allows strong interactions with metal surfaces, forming stable protective films that effectively block corrosion processes [4]. In addition, Schiff bases can be easily synthesized and modified to optimize their properties for specific environments, making them adaptable to various industrial applications[5].

The mechanisms of organic inhibitors, including adsorption and electron transfer, are well-studied using computational and experimental approaches [6]. Quantum chemical calculations and molecular dynamics simulations, play a crucial role in the research and development of modern corrosion inhibitors. Quantum chemical methods, such as Density Functional Theory (DFT), are used to calculate molecular reactivity descriptors (e.g., HOMO-LUMO energies, dipole moments, Fukui functions) to predict the adsorption behavior and inhibition efficiency of inhibitors on metal surfaces [7]. MD simulations provide insights into the dynamic interactions between inhibitor molecules and metal surfaces, including adsorption configurations, binding energies, and surface coverage. This helps evaluate the stability and effectiveness of inhibitors under realistic conditions [8]. These methods enable the design and optimization of inhibitors by identifying key structural features. These methods also help to explain the experimental results.

In this work, the inhibitory properties of two ONO-type Schiff bases (Figure 1) synthesized by condensation of *o*-aminophenol and *o*-hydroxyacetophenone (SB1), as well as *o*-aminophenol and 3,5-di-*tert*-butylsalicylaldehyde (SB2), were investigated using DFT calculations and MD simulation.

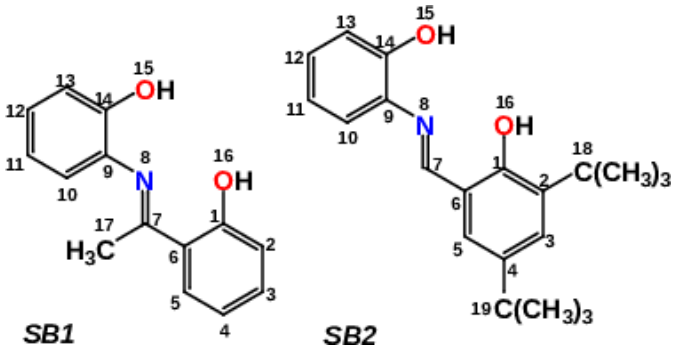


Fig.1 - Chemical structure with atomic enumeration of investigated ONO-type Schiff bases

Materials and methods. All quantum chemical calculations were performed on a desktop PC with Windows 11, a 12th-generation Intel(R) Core(TM) i7-12700H 2.30 GHz, 16 GB RAM, using GAMESS software [9]. Initially, full geometry optimization was achieved using the Molecular Mechanics (MM+) force field. The results from MM+ were then used as input and re-optimized using the semi-empirical PM3 method to obtain the equilibrium geometry. Final geometry optimization and quantum chemical parameters were obtained by density functional theory (DFT) calculations.

To calculate optimized geometrical structure, atomic charges, and energies, the B3LYP functional with the 6-311+G(d,p) basis set was used. All DFT calculations were carried out in the aqueous phase because electrochemical corrosion occurs in aqueous media. The solvent (H_2O) was incorporated via the Conductor-like Screening Model (COSMO) [10].

The following quantum chemical indices describing global reactivity were considered: the energy of the highest occupied molecular orbital (E_{HOMO}), the energy of the lowest unoccupied

molecular orbital (E_{LUMO}), the energy gap (ΔE_{gap}), ionization potential (IP), electron affinity (EA), electronegativity (χ), global hardness (η), softness (σ), electrophilicity (ω), nucleophilicity (ε), back-donation energy (E_{b-d}), total negative charge (TNC, TNC/n, where n is the total number of atoms in the molecule), and the fraction of transferred electrons (ΔN), considered according to the following equations [11]:

$$\Delta E_{gap} = E_{LUMO} - E_{HOMO} \quad (1)$$

$$IP = -E_{HOMO} \quad (2)$$

$$EA = -E_{LUMO} \quad (3)$$

$$\chi = \frac{IP + EA}{2} \quad (4)$$

$$\eta = \frac{IP - EA}{2} \quad (5)$$

$$\sigma = \frac{1}{\eta} \quad (6)$$

$$\omega = \frac{\chi^2}{2\eta} \quad (7)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{\omega} \quad (8)$$

$$\Delta E_{b-d} = -\frac{\eta}{4} \quad (9)$$

$$\Delta N = \frac{\chi_{Fe} - \chi_{inhibitor}}{2(\eta_{Fe} - \eta_{inhibitor})} \quad (10)$$

where χ_{Fe} and χ_{inh} are the absolute electronegativities of the iron atom and the inhibitor molecule, respectively; η_{Fe} and η_{inh} the absolute hardness of the iron atom and the inhibitor molecule, respectively. The electronegativity of iron is 7 eV, and the total hardness is 0 eV.

According to Koopman's theorem, the HOMO energy is related to IP while the LUMO energy is related to EA. Electronegativity (χ) and global hardness (η) were evaluated based on the finite difference approximation as linear combinations of the calculated IP and EA. The global softness (σ) is the reciprocal of the global hardness. The global electrophilicity index (ω) describes the stabilization of a molecule after the acquisition of an additional number of electrons. The nucleophilicity index (ε) is the reciprocal of the global electrophilicity index [12].

Molecular dynamics simulation. The intensity of the interactions between the examined inhibitor and metal surface was determined using molecular dynamics (MD) simulations. MD simulation is a modern computational technique crucial for theoretical studies of the interaction between inhibitors and metal surfaces.

The MD simulations were carried out by using the GROMACS 2020.4 software [13]. Adsorption energy was calculated by Equation (11):

$$E_{adsorption} = E_{total} - (E_{Fe(110)} + E_{inhibitor}) \quad (11)$$

where $E_{adsorption}$ is the adsorption energy (or interaction energy) corresponding to the amount of energy released or absorbed as 1 mole of adsorbate molecules is adsorbed on the adsorbent, E_{total} is the total energy of the whole system (surface $Fe(110)$ + inhibitor molecule), $E_{Fe(110)}$ is the energy of the metal, and $E_{inhibitor}$ is the energy of the inhibitor molecule. The binding energy is regarded as the reciprocal of the adsorption energy of the inhibitor molecule as follows (12):

$$E_{binding} = -E_{adsorption} \quad (12)$$

where $E_{binding}$ is the binding energy.

The $Fe(110)$ metal structure was chosen due to its lowest surface energy, thermodynamic stability and the largest area of the Fe crystal [14].

Results and discussion. The inhibitory properties of Schiff bases are investigated using quantum chemical methods, focusing on the electronic structure and reactivity descriptors. Density Functional Theory (DFT) calculations provided insights into molecular orbitals, charge

distribution, and adsorption behavior on metal surfaces to evaluate the mechanisms underlying their corrosion inhibition performance.

Frontier molecular orbitals (FMO) energies and molecular electrostatic potential (MEP). The electronic properties of Schiff bases, including their reactivity and adsorption behavior on metal surfaces, can be effectively analyzed using Frontier Molecular Orbitals (FMOs) and Molecular Electrostatic Potential (MEP). Optimized geometry, HOMO, LUMO energies and density distribution, energy gap ΔE_{gap}, and MEP for SB1 and SB2 molecules calculated using the DFT/B3LYP/6-311+G(d,p) method are presented in Figure 2. The positively charged lobe is indicated by the blue color, and the negatively charged lobe is indicated by the red color.

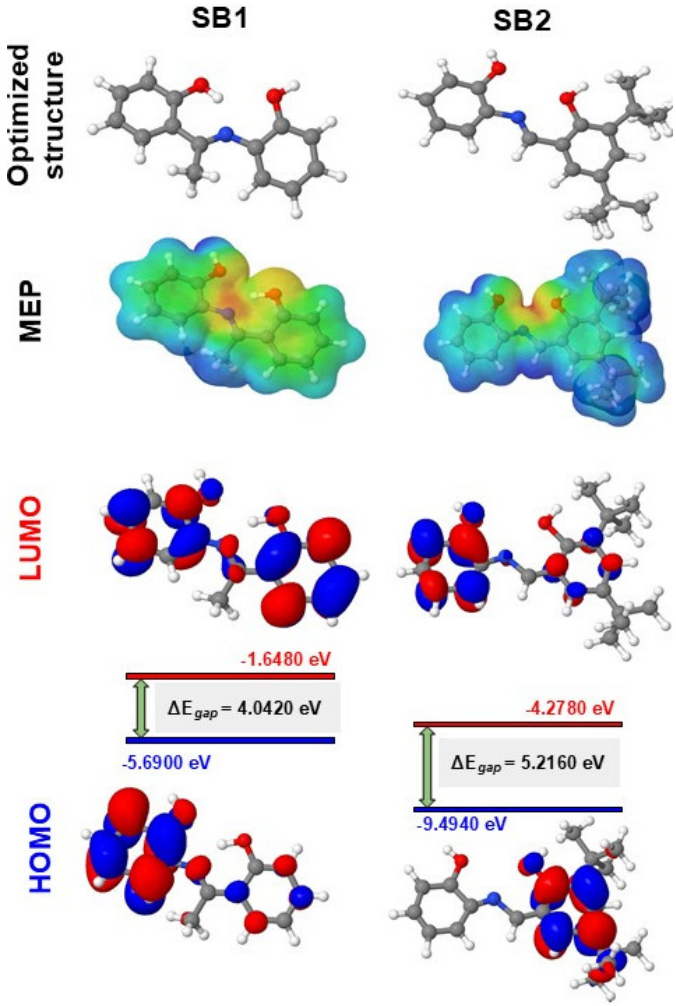


Fig.2 - HOMO, LUMO energies and density distribution, energy gap (ΔE_{gap}), and MEP for SB1 (A) and SB2 (B) molecules calculated using DFT/B3LYP/6-311+G(d,p) method

As evident from the optimized structures, both Schiff bases belong to the C_1 point group and exhibit non-planar geometries. This conformational behavior can be attributed to the free rotation around C*C σ-bonds and the steric repulsion between similarly charged functional groups, such as -OH.

The MEP maps reveal electron-rich regions (depicted in red) and electron-deficient regions (in blue). Both SB1 and SB2 exhibit areas of negative electrostatic potential localized around oxygen and nitrogen atoms, suggesting these sites as potential adsorption centers on the metal surface. Notably,

SB1 displays more intense and spatially confined electron-rich zones, indicating stronger and more specific interaction sites for bonding with metal. The high electron density around the donor atoms (O and N) enhances the likelihood of chemisorption, which is one of the key factors for the mechanism in the inhibition of metal corrosion.

In the SB1 molecule, the HOMO is primarily localized on the phenolic ring and the azomethine (-CH=N) group, particularly around the oxygen and nitrogen atoms. This indicates that these regions are electron-rich and capable of donating electrons to the vacant *d*-orbitals of metal atoms during adsorption. The LUMO is also distributed over the azomethine group and partially over the adjacent aromatic ring, suggesting that these sites are favorable for accepting back-donated electrons from the metal surface, thereby enhancing adsorption stability. In contrast, in the SB2 molecule, the HOMO is delocalized over the aromatic ring but exhibits lower electron density on the heteroatoms compared to SB1, implying a reduced ability to donate electrons to the metal. The LUMO is primarily located on the azomethine moiety and parts of the aromatic system. Its delocalized nature suggests a reduced capacity for back-donation, potentially lowering the efficiency of adsorption. Therefore, the co-localization of the HOMO and LUMO near the donor atoms (N and O) in SB1 indicates a strong potential for bidirectional interactions with the metal surface, involving both electron donation and back-donation. In contrast, the FMOs in SB2 are more dispersed and less concentrated near key donor sites, suggesting weaker and less specific interactions with the metal surface.

The HOMO energy reflects a molecule's ability to donate electrons to the metal surface. SB1 exhibits a higher HOMO energy compared to SB2, indicating a stronger electron-donating capability, which promotes adsorption onto the metal surface and facilitates the formation of a protective film. The LUMO energy is associated with the molecule's capacity to accept electrons. SB2 possesses a lower LUMO energy, suggesting a greater ability to accept electrons, which may enhance back-donation interactions from the metal. Furthermore, SB1 displays a smaller energy gap (ΔE_{gap}) than SB2, indicating higher chemical reactivity and a stronger potential for interaction with the metal surface.

The obtained results indicate that SB1 is more chemically reactive and has stronger inhibition potential than SB2, owing to its higher HOMO energy (enhanced electron-donating ability), lower ΔE_{gap} (greater chemical reactivity), and more favorable MEP distribution (stronger adsorption affinity toward the metal surface).

Mulliken atomic charge distribution (MACD) and Fukui functions analysis. Mulliken charge distribution analysis provides essential information on the electronic structure of corrosion inhibitor molecules by estimating the partial atomic charges [15]. Atoms with higher negative charges, typically heteroatoms such as nitrogen, oxygen, or sulfur, are identified as potential adsorption centers capable of donating electrons to the vacant orbitals of metal atoms. Additionally, the charge distribution influences total molecular polarity and orientation during adsorption on metal surfaces, and consequently is a valuable tool for understanding and predicting the corrosion inhibition performance of organic molecules.

In turn, Fukui functions are mathematical descriptors derived from Density Functional Theory (DFT) that quantify the reactivity of specific atomic sites in a molecule [16]. They indicate how the electron density of a molecule changes upon gaining or losing electrons, making them useful for identifying the most reactive sites in a molecule potentially suitable for nucleophilic, electrophilic or radical attack. Therefore, Fukui functions are integral to understanding the electronic properties and reactivity of corrosion inhibitors at the molecular level.

The condensed Fukui functions are calculated using the finite-difference approximation as follows:

$f_k^+ = P_k(N+1) - P_k(N)$ (For nucleophilic attack)

$f_k^- = P_k(N) - P_k(N-1)$ (For electrophilic

attack)

$f_k^0 = \frac{P_k(N+1)-P_k(N-1)}{2}$ (For radical attack)

The results of the calculation of Mulliken atomic charges and the values of the Fukui functions for ONO-type Schiff bases are presented in Table 1. For simplicity, the charges and Fukui functions of the hydrogen (H) atoms were removed.

Table 1 - Mulliken atomic charges and Fukui functions calculated using DFT/B3LYP/6-311+G(d,p) for ONO-type Schiff bases

Atoms*	P*k*(N)	P*k*(N+1)	P*k*(N-1)			
SB1						
C(1)	0.2454	0.3213	-0.3244	0.0759	-0.0790	-0.0015
C(2)	0.0902	-0.1359	-0.1046	-0.0457	0.0144	-0.0156
C(3)	-0.0669	-0.0746	0.0116	-0.0077	-0.0785	-0.0431
C(4)	-0.1032	-0.0974	-0.0842	0.0058	-0.0190	-0.0066
C(5)	-0.0688	-0.1289	-0.0572	-0.0601	-0.0116	-0.0358
C(6)	-0.1900	-0.0480	-0.2005	**0.1420**	0.0105	0.0762
C(7)	0.2863	0.1802	0.3241	-0.1061	-0.0378	-0.0719
N(8)	-0.5385	-0.5096	-0.5697	0.0289	**0.0312**	0.0300
C(9)	0.1197	0.1951	0.2121	0.0754	-0.0924	-0.0085
C(10)	-0.0682	-0.1382	-0.0699	-0.0700	0.0017	-0.0341
C(11)	-0.0977	-0.0827	-0.0602	0.0150	-0.0375	-0.0112
C(12)	-0.0844	-0.1067	-0.0689	-0.0223	-0.0155	-0.0189
C(13)	-0.1040	-0.1654	-0.0334	-0.0614	-0.0706	-0.0660
C(14)	0.1784	0.2870	0.1939	0.1086	-0.0155	**0.0465**
O(15)	-0.3654	-0.4101	-0.3417	-0.0447	-0.0237	-0.0342
O(16)	-0.3734	-0.4759	-0.2864	-0.1025	-0.0870	-0.0947
C(17)	-0.3276	-0.2665	-0.3067	0.0611	-0.0209	0.0201
SB2						
C(1)	0.1309	0.3687	0.2464	**0.2378**	-0.1155	**0.1766**
C(2)	0.0683	-0.0389	-0.0519	-0.1072	0.1202	-0.1137
C(3)	0.0701	0.0521	-0.0446	-0.0180	0.1147	-0.0663
C(4)	0.0437	-0.0314	-0.0373	-0.0751	0.0810	-0.0780
C(5)	-0.0425	0.0249	-0.0694	0.0674	0.0269	0.0202
C(6)	-0.0881	-0.1802	-0.1207	-0.0921	0.0326	-0.0623
C(7)	0.1598	0.2850	0.1061	0.1252	0.0537	0.0357
N(8)	-0.3201	-0.5249	-0.5653	-0.2048	**0.2462**	-0.2255
C(9)	0.0426	0.1361	0.1816	0.0935	-0.1390	0.1162

C(10)	-0.0075	-0.0350	-0.1255	-0.0275	0.1180	-0.0727
C(11)	-0.1335	-0.1027	-0.0999	0.0308	-0.0336	0.0322
C(12)	-0.0566	-0.0446	-0.1326	0.0120	0.0760	-0.0320
C(13)	-0.1342	-0.0829	-0.1334	0.0513	-0.0008	0.0260
C(14)	0.2204	0.2120	0.1496	-0.0084	0.0708	-0.0396
O(15)	-0.3689	-0.3665	-0.3835	0.0024	0.0146	-0.0061
O(16)	-0.4093	-0.2961	-0.4622	0.1132	0.0529	0.0301
C(18)	-0.2399	-0.2536	-0.1980	-0.0137	-0.0419	0.0141
C(19)	-0.2875	-0.2919	-0.2502	-0.0044	-0.0373	0.0164

* - *atomic enumeration is in accordance with Fig.1.*

The Mulliken atomic charge distribution analysis shows that regions of high electron density are located on the heteroatoms (nitrogen and oxygen) of both molecules. Therefore, these atoms serve as potential adsorption centres and contribute to the formation of a protective film on the metal surface. In both molecules, the nitrogen atom of the imine group (N8) has the highest electron density and is identified as the primary electrophilic centre, as confirmed by the corresponding Fukui function values.

Furthermore, the presence of *tert*-butyl substituents increases the susceptibility of nitrogen atoms to electrophilic attack, which is attributed to the electron donor properties of *tert*-butyl groups, increasing the total electron density in the molecule. This effect also makes the C(1) atom a potential center of radical attack.

Carbon atoms C(6) in SB1 and C(1) in SB2 were identified as potential centers for nucleophilic attack in both molecules. The shift in the nucleophilic reaction center is likewise attributed to the presence of *tert*-butyl groups. Acting as first-kind orientants, they increase the electron density in the aromatic system, particularly at the *ortho*- and *para*-positions. In the presence of a hydroxyl group, this results in a significant enhancement of electron density at the C(1) atom.

The combination of high electron density and favorable Fukui function values at key heteroatoms strongly supports the effective adsorption of the investigated inhibitor molecules onto the steel surface. This charge distribution further underpins the ability of the Schiff bases to interact with the steel surface through both electron donation and acceptance mechanisms, thereby enhancing their corrosion inhibition efficiency.

Molecular reactivity descriptors. Molecular reactivity descriptors are quantitative parameters that characterize the electronic structure and chemical reactivity of molecules. In the study of corrosion inhibitors, these descriptors are used to predict and understand the interaction between inhibitor molecules and metal surfaces. These descriptors are essential for designing and optimizing corrosion inhibitor structures for high efficiency and stability. Quantum chemical descriptors calculated for the investigated Schiff bases molecules in aqueous phase are listed in Table 2.

Table 2 - Molecular reactivity descriptors calculated for ONO-type Schiff bases calculated using DFT/B3LYP/6-311+G(d,p) in aqueous phase

Descriptor	**SB1**	**SB2**
Total energy (E*tot*), a.u.	-746.25	-1021.14

Dipole moment (μ), D	2.8142	1.7517
Ionization energy (IP), eV	5.6900	9.4940
Electron affinity (EA), eV	1.6480	4.2780
Electronegativity ( ), eV	3.6690	6.8860
Chemical hardness (η), eV	2.0210	2.6080
Chemical softness (σ), eV	0.4948	0.3834
Electrophilicity index (ω), eV	6.7308	23.7085
Nucleophilicity index (ε), eV	0.1486	0.0422
Back-donation energy (E*b-d*, eV)	-0.5053	-0.6520
Fraction of transferred electrons (ΔN)	-0.8241	-0.0219
TNC	-2.4783	-3.5265
TNC/*n*	-0.0826	-0.0691
Inhibition efficiency (in 0.5 mol·dm^{-3} H2SO4) [17], %	86,55	56,05

The calculated total energy values (E_{tot}) indicate greater stability of SB2 molecule. The dipole moment (μ) reflects the polarity of the inhibitor molecule and provides insights into its adsorption behavior. A higher dipole moment generally indicates stronger molecular polarity, which can enhance the interaction between the inhibitor and the metal surface through electrostatic forces. Molecules with significant dipole moments tend to learn more effectively on the metal surface, promoting the formation of a compact and stable protective film. The calculation results indicate that SB1 has a higher dipole moment and, accordingly, has more intense inhibitory properties, which is consistent with experimental data.

Ionization energy (IE) and electron affinity (EA) are key descriptors of the electronic properties of corrosion inhibitors. Ionization energy reflects the ability of a molecule to donate electrons; a lower IE indicates that the molecule can more easily donate electrons to the vacant *d*-orbitals of metal atoms, enhancing adsorption. Electron affinity measures the tendency of a molecule to accept electrons. Therefore, a higher EA suggests a stronger ability to accept electrons from the metal surface. Together, these parameters describe the molecule's ability to engage in donor - acceptor interactions with the metal, stabilizing the adsorbed layer and improving corrosion inhibition efficiency. The calculated values of the ionization energy indicate that SB1 is a more effective inhibitor, which is also consistent with the experimental results. The values of electron affinity indicate that the most effective inhibitor should be SB2. Most likely, this result is due to the presence of *tert*-butyl groups, which make charges on potential electrophilic centers more positive, thereby increasing acceptor properties of the whole molecule.

Electronegativity (χ) also plays a critical role in describing the properties of corrosion inhibitors. Molecules with high electronegativity tend to attract electrons, enabling them to form stable interactions with the partially positive metal atoms. A higher electronegativity value for SB2 molecule implies it' s more effective interaction with the metal surface and therefore has higher inhibitory properties. However, the lower inhibition efficiency is likely because the large *tert*-butyl groups create significant sterical hindrance.

Chemical hardness (η) and softness (σ) are also important descriptors for understanding the reactivity of corrosion inhibitors. In corrosion inhibition, soft molecules are often more effective because their higher polarizability and greater reactivity enhance their ability to adsorb onto the metal, form stable complexes, and protect

the surface. Thus, chemical softness is typically associated with higher inhibition efficiency. A higher chemical softness value and a lower chemical hardness value for SB1 clearly indicate its more effective inhibitory properties.

Electrophilicity (ω) and nucleophilicity (*ε*) indexes provide insight into the chemical reactivity of corrosion inhibitors. High nucleophilicity and low electrophilicity show enhanced adsorption of inhibitor molecules on metal surfaces, and therefore they are critical for predicting and describing the efficiency of corrosion inhibitors. As can be seen, the values of both parameters also confirm the high effectiveness of SB1 as a corrosion inhibitor.

Back-donation energy ($E_{b\text{-}d}$) describes the ability of inhibitor molecules to accept electron density from the metal surface into their LUMO. A negative back-donation energy indicates that, in addition to donating electrons to the metal, the inhibitor can also accept electrons from the metal' s surface. This two-way electron transfer strengthens the adsorption interaction, leading to the formation of a more stable protective film. The results of the calculations indicate that both molecules, especially SB2, tend to accept electrons from the metal. However, the sterical hindrance caused by tert-butyl groups does not allow the orbitals to be at the distance necessary for back-donation and thereby reduces its inhibitory effectiveness.

The fraction of transferred electrons (ΔN) quantifies the extent of electron transfer from a corrosion inhibitor molecule to the metal surface. Generally, a higher ΔN value corresponds to a greater ability of the molecule to stabilize on the metal surface through donor–acceptor interactions, enhancing its corrosion inhibition efficiency. A negative ΔN suggests that both inhibitor molecules can accept electrons from the metal, which leads to the reduction of the adsorption intensity. A more negative ΔN value calculated for SB1 clearly indicates its lower propensity to accept electrons from the metal surface and, therefore, its higher inhibition efficiency.

The total negative charge (TNC) represents the sum of all negative atomic charges within a molecule, providing an overall measure of its electron-donating ability. A more negative TNC value indicates a greater capacity for electron donation to the metal surface, promoting stronger sorption and enhancing corrosion protection. The ratio TNC/*n*, where *n* is the number of atoms in the molecule, normalizes the total negative charge relative to molecular size, allowing for more accurate comparisons between inhibitors of different molecular weights. Higher TNC/*n* values suggest a more efficient distribution of electron density, which correlates with improved adsorption strength and inhibition efficiency. The values of these parameters for the studied molecules indicate a more efficient distribution of electron density in molecule SB1 and, consequently, its higher inhibition efficiency.

Thus, most of the calculated parameters clearly confirm the high inhibition efficacy of SB1 compared to SB2. The insignificant differences between the calculation results and the experimental data are explained by the peculiarity of the structure of SB2 molecule, in particular, the presence of two bulky *tert*-butyl groups and their steric effects.

Molecular dynamic simulation. Molecular dynamics (MD) simulation is used to study the dynamic behavior of molecules and their interactions. MD simulations provide insights into inhibitor molecules interaction with metal surfaces, including adsorption configurations, binding energies, and the formation of protective films. MD simulations help quantify the effectiveness of inhibitors by analyzing parameters like surface coverage, interaction energy, and molecular orientation. By simulating different molecular structures, MD makes it possible to identify characteristics that increase adsorption and corrosion resistance and thus help design more effective inhibitors. This approach significantly complements experimental results and quantum chemical methods, providing a dynamic perspective on inhibitor performance.

The top and side views of the optimal configurations of both studied Schiff bases on the Fe(110) surface are shown in Figure 3.

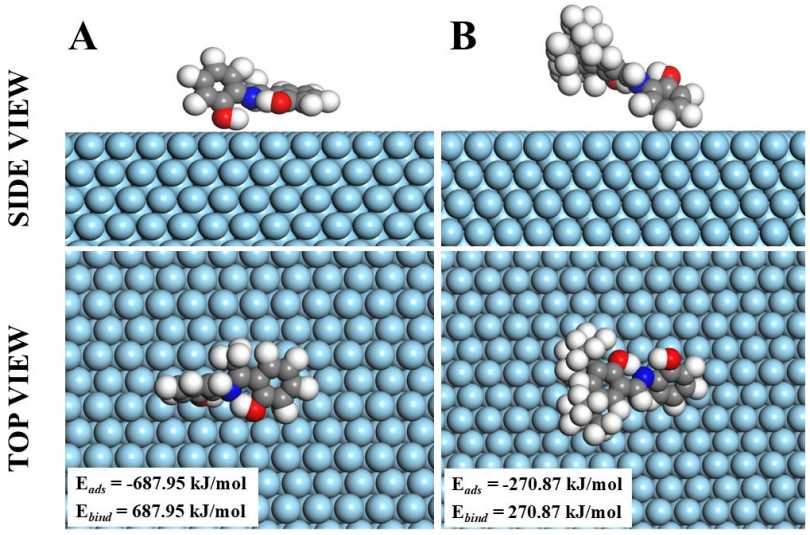


Fig. 3 - Side and top views of the most appropriate configuration for adsorption of SB1 (A) and SB2 (B) molecules on the Fe (110) surface obtained by MD simulations

As can be seen, the SB1 molecule lying flat on the Fe(110) surface. The corresponding values of the adsorption energy indicate a more effective interaction between the SB1 molecules and the Fe(110) surface. The presence of two bulky *tert*-butyl substituents in SB2 structure prevents effective adsorption of the inhibitor due to sterical hindrance. As a result, the inhibitor molecule is positioned at an angle, which also prevents effective interaction with the metal surface of all potential sorption centres, leading to the decrease of inhibition efficiency.

Proposed adsorption mechanism. Based on the results obtained, a mechanism of sorption of the studied ONO-type Schiff bases on the Fe(110) surface was proposed and shown in Figure 4.

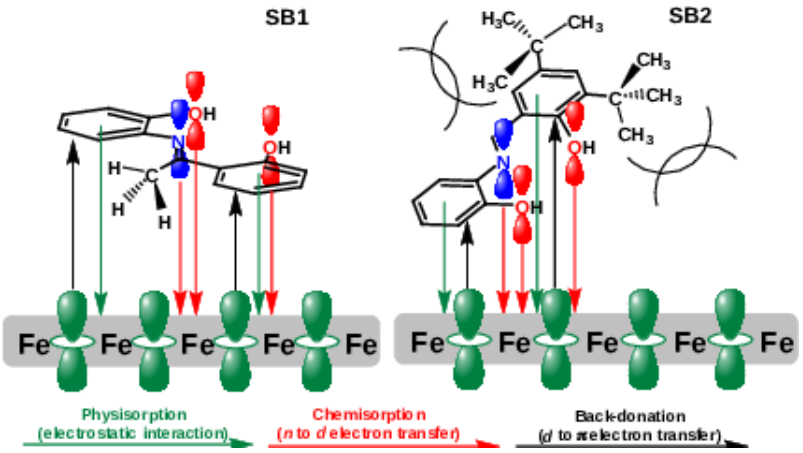


Fig.4 - Proposed adsorption mechanism for SB1 and SB2 on the Fe (110) surface in accordance with calculated descriptors

As can be seen, the SB1 molecule has a flatter orientation relative to the metal surface than the SB2. This is due to the presence of bulky *tert*-butyl substituents, which create steric hindrance to more effective adsorption. More positive changes in heteroatoms in SB2 molecule also reduce the adsorption efficiency due to weaker interactions with the metal surface.

SB1 exhibits higher inhibition efficiency (86.55%) due to its favorable electronic properties, including a higher dipole moment (2.8142 D), lower ionization energy (5.6900 eV), and greater chemical softness (0.4948 eV). These parameters enhance its ability to donate electrons to the metal surface, forming stable donor-acceptor interactions. Additionally, SB1' s flatter orientation relative to the metal surface facilitates effective adsorption through its heteroatoms, as supported by its higher total negative charge (TNC = -2.4783) and fraction of transferred electrons (ΔN=−0.8241). In contrast, SB2 shows lower inhibition efficiency (56.05%) due to steric hindrance caused by bulky *tert*-butyl groups, which limit its adsorption capacity. Despite its higher electronegativity (6.8860 eV) and electron affinity (4.2780 eV), these properties result in weaker donor-acceptor interactions and reduced adsorption intensity. The steric effects also prevent optimal alignment of adsorption centers, further decreasing its effectiveness. The back-donation of electrons from the *d*-orbitals of the metal enhances the interaction of SB1 with the Fe(110) surface. Despite the fact that the LUMO energy values for SB2 indicate its better ability to accept electrons from the metal surface, more efficient back-donation is observed for SB1 due to the localization of LUMO on both aromatic systems and the absence of steric hindrance.

Conclusion. This study employed density functional theory (DFT) and molecular dynamics (MD) simulations to evaluate the corrosion inhibition performance of two ONO-type Schiff bases. The quantum chemical calculations revealed that SB1 possesses more favorable electronic properties for corrosion inhibition, including a higher HOMO energy, lower energy gap (ΔE_{gap}), greater dipole moment, and enhanced chemical softness, all of which contribute to its excellent electron-donating ability and reactivity. The molecular electrostatic potential (MEP) maps and frontier molecular orbital (FMO) distributions indicated that SB1 provides more effective adsorption centers localized on heteroatoms, promoting stronger interactions with the metal surface. Mulliken charge analysis and Fukui function evaluations further supported the predominance of nitrogen and oxygen atoms as active sites for adsorption, particularly in SB1. The calculated global reactivity descriptors consistently pointed to SB1' s higher inhibitory efficiency. Moreover, MD simulations confirmed that SB1 adopts a favorable flat orientation on the Fe(110) surface, maximizing its surface coverage and interaction energy, while steric hindrance from bulky *tert*-butyl substituents in SB2 decreases its adsorption efficiency. In summary, SB1 demonstrated excellent corrosion inhibition performance compared to SB2, both theoretically and experimentally. These findings highlight the value of integrated approaches for the rational design of effective corrosion inhibitors.

References

1. Al-Amiery A.A., Isahak W.N.R.W., Al-Azzawi W.K. Corrosion Inhibitors: Natural and Synthetic Organic Inhibitors//Lubricants. - 2023. - Vol. 11(4):174. DOI 10.3390/lubricants11040174.

2. Yang H.-M. Role of Organic and Eco-Friendly Inhibitors on the Corrosion Mitigation of Steel in Acidic Environments-A State-of-Art Review//Molecules. - 2021. - Vol.26(11): 3473. DOI 10.3390/molecules26113473.

3. Lordjames A. et al. Schiff Bases as Effective and Sustainable Corrosion Inhibitors // Saudi Jourbal of Engineering and Technology. -2025. -Vol.10 (04). -P.127-136. DOI 10.36348/sjet.2025.v10i04.002.

4. Govindasamy R. et al. Improved corrosion inhibition by heterocyclic compounds on mild steel in acid medium//Corrosion Reviews. -2022. -Vol. 40 (2). -P.137-148. DOI 10.1515/corrrev-2021-0045.

5. Senapati R. et al. Amino acid Schiff bases as efficient corrosion inhibitor for mild steel in aqueous H2SO4: a comparative study//BCREC Engineering & Science Transaction(BEST). -2023. - Vol.4 (01). – P.1-10.DOI 10.61429/BEST2023E03.

6. Shaker L.M. et al. Understanding the mechanism of organic corrosion inhibitors through density functional theory//Koroze a ochrana materiálu. -2024. -Vol.68 (1). -P.9–21. DOI 10.2478/kom-2024-0002.

7. Mamand D.M., Qadr H.M. Corrosion inhibition efficiency and quantum chemical studies of some organic compounds: theoretical evaluation//Corrosion Reviews. - 2023. - Vol.41 (4). - P.427-441. DOI 10.1515/corrrev-2022-0085.

8. Bhaskara S. et al. Evaluation of Corrosion Inhibition Efficiency of Aluminum Alloy 2024 by Diaminostilbene and Azobenzene Schiff Bases in 1 M Hydrochloric Acid // International Journal of Corrosion//International Journal of Corrosion. -2021. -Vol.2021(1). -P.1-20. DOI 10.1155/2021/5869915.

9. Schmidt M.W. et al. General atomic and molecular electronic structure system//Journal of Computational Chemistry. -1993. -Vol.14(11). -P.1347-1363. DOI 10.1002/jcc.540141112.

10. Klamt A. The COSMO and COSMO-RS solvation models//WIREs Computational Molecular Science. - 2018. - Vol.8 (1): e1338. DOI 10.1002/wcms.1338.

11. Akatyev N. et al. A new potential of sodium anthraquinone-2-sulfonate as a corrosion inhibitor for carbon steel in 0.5 M H2SO4 // Journal of Electrochemical Science and Engineering. - 2025. - Vol.15 (2):2512. DOI 10.5599/jese.2512.

12. Akatyev N. Semi-empirical investigation of zinc(ii) salicylate. comparison with x-ray structure//Vestnik KazUTB. -2024. -Vol.3(24). -P. 236-249. DOI 10.58805/kazutb.v.3.24-514.

13. Abraham M.J. et al. GROMACS: High performance molecular simulations through multi-level parallelism from laptops to supercomputers // SoftwareX. -2015. -Vol.1-2. - P.19–25. DOI 1016/j.softx.2015.06.001.

14. Mazlan N. et al. Density functional theory and molecular dynamics simulation studies of bio-based fatty hydrazide-corrosion inhibitors on Fe (1 1 0) in acidic media // Journal of Molecular Liquids. - 2022. - Vol.347: 118321. DOI 10.1016/j.molliq.2021.118321.

15. Kotupalli M.R. *et al.* Corrosion Inhibition of Mild Steel by *Plumeria rubra* Flower Extract: Electrochemical and Computational Study//ChemistrySelect. -2024. -Vol.9 (46): e202403617. DOI 10.1002/slct.202403617.

16. Ogunyemi B.T. Quantum Chemical and Reactivity-Based Evaluation of Aspartic Acid and its Oligomers as Eco-Friendly Corrosion Inhibitors for Iron Surfaces//IJRASET. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET). -2025. -Vol.13 (3). -P. 3585–3593. DOI 10.22214/ijraset.2025.68891.

17. Asanova D.Zh., Serikkalieva A.A., Akat’ ev N.V. Issledovanie ingibirujushhih svojstv osnovanij Shiffa ONO-tipa // Dostizhenija molodyh uchenyh: himicheskie nauki: Sbornik tezisov X Vserossijskoj molodezhnoj konferencii. Ufimskij universitet. -2025. -C. 46-47. ISBN 978-5-7477-6091-2. [in Russian]

Information about the authors

Akatyev N.V. - Candidate of Chemical Sciences, senior lecturer, M. Utemisov West Kazakhstan University, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: nikolay.akatyev@wku.edu.kz;

Vardanyan R.D. - student, M. Utemisov West Kazakhstan University, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: darupandandtary@gmail.com;

Kozhevnikova E.A. - student, M. Utemisov West Kazakhstan University, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: katerinakozevnikova853@gmail.com.

Сведения об авторах

Акатьев Н.В. - кандидат химических наук, старший преподаватель, Западно-Казахстанский университет им. М.Утемисова, Уральск, Казахстан, e-mail: nikolay.akatyev@wku.edu.kz;

Варданян Р. Д.– студент, Западно-Казахстанский университет им. М.Утемисова, Уральск, Казахстан, e-mail: darupandandtary@gmail.com;

Кожевникова Е.А. – студент, Западно-Казахстанский университет им. М.Утемисова, Уральск, Казахстан, e-mail: katerinakozevnikova853@gmail.com.

ҒТАМР 31.21.25 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1251**

КӨРІНЕТІН СПЕКТРДЕ БЕЛСЕНДІ СІҢІРУ ЖӘНЕ ШЫҒАРУЫ БАР ДОНОРЛЫ АЛМАСТЫРҒАН АЗУЛЕН ҚОСЫЛАСТАРЫ

[1]А.Н. Искандеров, [1]Н. Мерхатұлы, [2]С.К. Жокижанова, [1]А.Н. Искандеров, [3]Х.Б. Омаров, [1]А.О. Булумбаева

[1]Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды Мемлекеттік университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[2]С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан,
[3]Қ.Құлажанов атындағы технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан

Корреспондент-автор: e-mail:aby93@yandex.kz

Бірегей құрылымы бар ароматты көмірсутек азулен жаңа органикалық функционалды материалдарды жасау үшін перспективалы модульдік компонент ретінде көбірек қарастырылуда. Оның қызығушылығы ерекше поляризацияланған құрылымымен, сондай-ақ ерекше электрондық және оптикалық қасиеттерімен байланысты. Азуленнің көгілдір түсі бар, ол тыйым салынған $\pi \rightarrow \pi^*$ электронды ауысудың салдары болып табылады, сонымен қатар аномальды анти-Каша флуоресценциясын көрсетеді. Осы зерттеуде донор-алмастырылған топтары бар жаңа азулен қосылыстары, 2,6-бис(9Н-карбазол)-азулен және 2,6-бис(N,N-дифениланилин)-азулен палладий катализаторын пайдаланып дибромоазуленді карбазолмен және бориланилинмен айқастыру арқылы алынды.

Негізгі синтетикалық әдістер ретінде ирридий және палладий катализаторлары қатысатын қазіргі кросс-қосу реакциялары қолданылды. Синтезделген қосылыстардың химиялық құрылымы мен тазалығы ядролық магниттік (^{1}Н және ^{13}С) және инфрақызыл спектрометрия және жоғары ажыратымдылықтағы масс-спектрометрия (HRMS) арқылы дәлелденді.

Алынған қосылыстар көрінетін жарықтың қарқынды жұтылуымен және шығарылуымен (толқын ұзындығы 400-ден 600 нм-ге дейін) сипатталатыны тәжірибе жүзінде анықталды. Зерттеулер көрсеткендей, фотолюминесценцияның көк-жасыл аймағында көрінетін жарықтың флуоресцентті сәулеленуін қоса алғанда, бірегей фотофизикалық сипаттамалар азуленнің 2 және 6 позицияларына электрон беретін карбазол мен дифениланилин топтарының қосылуы есебінен алынған. Зерттеулер көрсеткендей, алынған қосылыстардың электронды құрылғыларда қолданылатын олиготиофендермен салыстырғанда жоғары HOMO (ең жоғары орналасқан молекулалық орбиталь) орбитальдары бар және толқын ұзындығының кең спектрінде күшті сіңіру қабілетін көрсетеді.

Алынған мәліметтер оптоэлектронды және фотоникалық құрылғыларда қолдануға арналған азулен негізіндегі жаңа конъюгацияланған қосылыстарды ұтымды жобалауға негіз болады.

Түйін сөздер: азулендер, карбазол, фениланилин, бірігу, электрондардың жұтылуы және эмиссиясы.

ДОНОРНО-ЗАМЕЩЕННЫЕ АЗУЛЕНОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ С ИНТЕНСИВНЫМ ПОГЛОЩЕНИЕМ И ИЗЛУЧЕНИЕМ В ВИДИМОМ СПЕКТРЕ

[1]А.Н. Искандеров, [1]Н. Мерхатұлы, [2]С.К. Жокижанова, [1]А.Н. Искандеров, [3]Х.Б. Омаров, [1]А.О. Булумбаева

[1]Карагандинский университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан,
[2]Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, Астана, Казахстан,
[3]Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
e-mail: aby93@yandex.kz

Азулен, неальтернантный ароматический углеводород с уникальной структурой, все чаще рассматривается как перспективный модульный компонент для создания новых органических функциональных материалов. Его интерес обусловлен специфическим поляризованным строением, а также исключительными электронными и оптическими характеристиками. Азулен имеет синий цвет,

являющейся следствием запрещенного π → π* электронного перехода, а также демонстрирует аномальную анти-Каша флуоресценцию. В ходе настоящего исследования путем кросс-сочетания дибромазулена с карбазолом и бориланилином при использовании палладиевого катализатора были получены новые азуленовые соединения с донорно-замещенными группами: 2,6-бис(9H-карбазолил)-азулен **5** и 2,6-бис(N,N-дифениланилинил)-азулен **7**.

Для синтеза ключевых соединений были применены современные реакции кросс-сочетания, опосредованные катализаторами на основе иридия и палладия. Структурная идентичность и чистота полученных соединений подтверждены посредством ЯМР-спектроскопии (^{1}H и ^{13}C) и ИК-спектроскопии, а также масс-спектрометрии высокого разрешения (HRMS).

Научные исследования подтвердили, что синтезированные соединения демонстрируют интенсивное поглощение и излучение света видимого спектра (в диапазоне волн от 400 до 600 нм). Анализ показал, что введение электронодонорных карбазольных и дифениланилиновых групп в 2 и 6 позиции азулена привело к уникальным фотофизическим свойствам, среди которых особое внимание заслуживает флуоресцентное излучение сине-зеленого спектра при фотолюминесценции. Анализы выявили, что созданные соединения характеризуются более высокими орбиталями HOMO по отношению к олиготиофенам, используемым в электронных приборах, и обладают выраженной способностью поглощать свет в широком диапазоне длин волн.

Полученные результаты предоставляют основу для разработки новых азуленовых сопряженных соединений, которые могут быть эффективно использованы в оптоэлектронных и фотонных устройствах.

Ключевые слова: азулены, карбазол, фениланилин, сочетание, электронное поглощение и эмиссия.

DONOR-SUBSTITUTED AZULENE COMPOUNDS WITH INTENSE ABSORPTION AND EMISSION IN THE VISIBLE SPECTRUM

[1]A.N. Iskanderov✉, [1]N. Merkhatuly, [2]S.K. Zhokizhanova, [1]A.N. Iskanderov, [3]Kh.B. Omarov, [1]A.O. Bulumbaeva

[1] Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan,
[2]S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University Astana, Kazakhstan,
[3]K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
e-mail: aby93@yandex.kz

Azulene, an aromatic hydrocarbon with a unique structure, is increasingly being considered as a promising modular component for the creation of new organic functional materials. Its interest is due to its specific polarised structure, as well as its exceptional electronic and optical characteristics. In this study, new azulenes with donor-substituted groups were obtained by cross-coupling dibromazulenes with carbazole and borylaniline using a palladium catalyst: 2,6-bis(9H-carbazole)-azulene 5 and 2,6-bis(N,N-diphenylaniline)-azulene 7. Methods. Modern cross-coupling reactions involving iridium and palladium catalysts were used as key synthetic methods. The structure and purity of the synthesized compounds were confirmed by NMR (^{1}H and ^{13}C) and IR spectrometry and HRMS.

Experiments have shown that the compounds obtained are characterised by intense absorption and emission of visible light (in the wavelength range from 400 to 600 nm). Studies have shown that unique photophysical characteristics, including visible light fluorescence in the blue-green region of photoluminescence, were obtained due to the inclusion of electron-donating carbazole and diphenylaniline groups in the 2 and 6 positions of azulene. Studies have shown that the resulting compounds have higher HOMO orbitals compared to oligothiophenes used in electronic devices and demonstrate strong absorption capacity across a wide range of wavelengths.

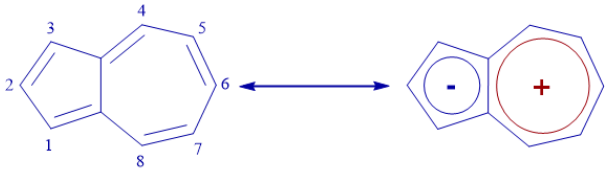
The data obtained provides a basis for the rational design of new azulen-based conjugated compounds intended for use in optoelectronic and photonic devices.

Keywords: azulenes, carbazol, phenylanilin, coupling, electronic absorption and emission.

Кіріспе. Кеңейтілген π-электрондық байланыс жүйелері бар ароматтық қосылыстардың кеңінен қолданылуы олардың органикалық оптоэлектроника саласындағы функционалды материалдар ретінде маңызды рөл атқаруымен негізделеді.

Соңғы уақытта ароматтық және гетероароматтық қосылыстарға қызығушылық артып келеді, әсіресе оларды электронды акцепторлық және/немесе донорлық қасиеттерге ие арил топтарымен түрлендіруге баса назар аударылуда. Мысалы, диариламино-замещенген нафталиндер мен антрацендер айтарлықтай электрон-донорлық қасиеттерімен белгілі және оларды әртүрлі салаларда қолдану мүмкіндігіне байланысты зерттеушілердің назарын өзіне аударуда, мысалы, органикалық жартылай өткізгіштерде, тотығу-тотықсыздану реакцияларына қатысатын материалдарда, металлорганикалық қаңқаларда (MOFs) және органикалық жарық шығаратын диодтарда (OLEDs) (Freudenberg, et.al., 2018; Roy, et.al., 2022; Zhang, et.al., 2016; Mayer, et.al., 2019; Wu, et.al., 2009; Taniguchi, et.al., 2021; Noto, et.al., 2019) [1-3].

Осы контексте нафталиннің құрылымдық изомері -азуленге (Tsuchiya, et.al., 2019; Xin, et.al., 2021) ерекше назар аудару қажет. Азулен өзінің бірегей ароматтық көмірсутектік құрылымының арқасында ерекше электрондық және спектралдық қасиеттерді көрсетеді. Оның қасиеттерінің ішінде дипольдік моменті 1,08 D болатын полярланған құрылым мен Каши заңына бағынбайтын, яғни $S2 \rightarrow S0$ ауысуын көрсететін ерекше флуоресценцияны атап өтуге болады (Dunlop, et.al., 2023) [4,5]. Азуленнің молекулалық құрылымын тропилий катионы мен циклопентадиенил анионының конденсация өнімі ретінде интерпретациялауға болады, бұл 1-суретте көрсетілген. Мұндай ерекше архитектура типтік ароматтық көмірсутектермен салыстырғанда HOMO деңгейінің жоғарылауына және LUMO деңгейінің төмендеуіне алып келеді (Tsuchiya, et.al., 2019; Xin, et.al., 2021). Азуленнің 1 және 3 позицияларында HOMO-де үлкен атомдық орбитальдық коэффициенттер байқалса, ал 2 және 6 позицияларында -HOMO-1 және LUMO-де жоғары коэффициенттер анықталады (Tsuchiya, et.al., 2019; Xin, et.al., 2021). Түссіз нафталиннен айырмашылығы, азулен қою көк реңкке ие, бұл шамамен 580 нм аймағындағы λmax мәнімен сипатталатын S0-S1 ауысуына байланысты жұтылу қасиетін көрсетеді, дегенмен π–π* электрондық ауысу үшін мольдік сіңіру коэффициенті аз ғана -бар болғаны 350 M ¹см ¹ (Shevyakov, et.al., 2003) [6,7].



1

1-сурет. Азуленнің полярланған резонанстық құрылымы 1

Осылайша, азулен ядросының белгілі бір позицияларына донорлық карбазолдық және дифениланилиндік топтарды енгізу азулен жүйесінің электрондық құрылымын айтарлықтай өзгерте алады, бұл оның оптикалық қасиеттерінің елеулі түзетулеріне алып келеді. Азулен ядросындағы орынбасарлардың орналасуын реттеу материалдардың оптикалық қасиеттерін жоғары дәлдікпен өзгертуге мүмкіндік береді [8]. Осы зерттеуде біз 2- және 6-позицияларында электрон-донорлық карбазолдық және дифениланилиндік топтармен модификацияланған 5 және 7 азуленді қосылыстарды сәтті алуды көрсетеміз. Сонымен қатар, олардың фотофизикалық қасиеттері жан-жақты қарастырылады [9]. Мұндай молекулалық архитектуралар азуленнің электрондық құрылымына айтарлықтай әсер етіп, HOMO және LUMO орбитальдарының энергия деңгейлері мен олардың арасындағы энергетикалық саңылауларды өзгертеді, бұл өз кезегінде көрі-

нетін спектр аймағында жарықтың жұтылуы мен сәулеленуінің күшеюіне әкеледі [10].

Материалдар мен әдістер. ^{1}H NMR және ^{13}C NMR спектрлері JNM-ECA 500 спектрометрінде (500 МГц және 126 МГц, DMSO-D_6 ерітіндісінде) тіркелді. ИҚ-спектрлер Avatar-360 ИҚ-спектрометрінде алынды. Жоғары ажыратымдылықтағы масс-спектрлер (HRMS) Thermo Electron Corporation DFS масс-спектрометрінде өлшенді. УФ-көрінетін спектрлер Shimadzu UV-1800 спектрофотометрінде өлшенді. Флуоресценция спектрлері Agilent Cary Eclipse флуориметрі арқылы тіркелді. Балқу нүктелері Buchi M-560 аспабында анықталды.

Жұмыста келесі реактивтер мен еріткіштер пайдаланылды: азулен 1 (99,5%), карбазол 4 (99,8%), N,N-дифенил-6-(4,4,5,5-тетраметил-1,3,2-диоксаборолан-2-ил)азулен-2-амин 6 (99,6%), $(Bpin)_2$ (99%), $[IrCl(cod)]_2$ (98%), $Pd(OAc)_2$ (98%), $Pd(PPh_3)_2Cl_2$ (98%), 2,2′-bpy (98,5%), CuBr (98,8%), t-BuOK (99,2%), t-Bu_3PHBF_4 (98,8%), K_2CO_3 (99,5%), диметилформамид (ДМФ, 99,8%), толуол (99,6%), ТГФ (99,7%), дихлорметан (ДСМ, 99,8%), сондай-ақ басқа да «Sigma-Aldrich» компаниясының реактивтері.

2,6-бис(9H-карбазол)-азулен(5). Дибромазулен 3 (286 мг, 1,00 ммоль), карбазол 4 (462 мг, 3,00 ммоль), палладий(II) ацетаты (12 мг, 0,05 ммоль), калийдің трет-бутоксиді (1,57 г, 14,0 ммоль) және три-трет-бутилфосфоний тетрафторбораты (3,0 мг, 0,01 ммоль) 30 мл толуолда ерітіліп, аргон атмосферасында 3 сағат бойы қайнатылды.

Содан кейін қоспа толуол және H_2O қосылып сұйылтылды және целит арқылы сүзілді. Толуол қабаты натрий сульфатымен кептіріліп, роторлы буландырғышта концентрленді. Алынған шикі өнім SiO_2 бағанасында колонкалық хроматография әдісімен (еріткіш қоспасы C_6H_{14}/DCM, қатынасы 9:1) және DCM-нен қайта кристалдану арқылы тазартылды.

Нәтижесінде 367 мг қою қоңыр түсті қатты зат алынды (шығым 80%).

Б.т (153–154°C). ИК-спектр (ν, см $^{-1}$): 2993, 2855, 1574, 1442, 1392, 1338, 1226, 1161, 748.

^{1}H ЯМР спектрі (δ, м.д.): 8.24 (д, J = 7.6 Гц, 2H), 8.06 (д, J = 7.6 Гц, 2H), 8.00 (д, J = 8.2 Гц, 2H), 7.76 (с, 2H), 7.50–7.32 (м, 14H). ^{13}C ЯМР спектрі (δ, м.д.): 140.21, 139.93, 139.85, 136.85, 127.17, 125.96, 124.18, 122.89, 118.95, 111.42.

Жоғары ажыратымдылықтағы масс-спектр (ESI) m/z: $C_{34}H_{23}N_2$ $[M+H]^+$: есептелген 459.0374, табылған 459.0349.

Элементтік талдау ($C_{34}H_{22}N_2$): есептелген -C 89.05, H 4.84, N 6.11; табылған -C 88.86, H 4.71, N 6.18.

2,6-бис(N,N-дифениланилин)-азулен (7). Дибромазулен 3 (286 мг, 1,00 ммоль) және бориланилин 6 (462 мг, 3,00 ммоль) 10 мл дегазацияланған ТГФ/H_2O (4:1) қоспасында ерітіліп, $Pd(PPh_3)_2Cl_2$ (16 мг, 0,02 ммоль) және K_2CO_3 (60 мг, 0,43 ммоль) аргон атмосферасында қосылды. Қоспа 75°C температурада 18 сағат бойы араластырылды, содан кейін бөлме температурасына дейін салқындатылып, ДСМ-мен (3 × 20 мл) экстракцияланды. Біріктірілген экстрактар $MgSO_4$ үстінде кептіріліп, вакуумда буландырылды. Алынған өнім SiO_2 үстінде колонкалық хроматография арқылы (еріткіш қоспасы C_6H_{14}/ДСМ, 9:1) және ДСМ-нен қайта кристалдану арқылы тазартылды.

Нәтижесінде 225 мг қоңыр түсті қатты зат алынды (шығым 83%).

Б.т.214–216°C. ИК-спектр (ν, см $^{-1}$): 2921, 2850, 1580, 1481, 1421, 1342, 1275, 1161, 1033.

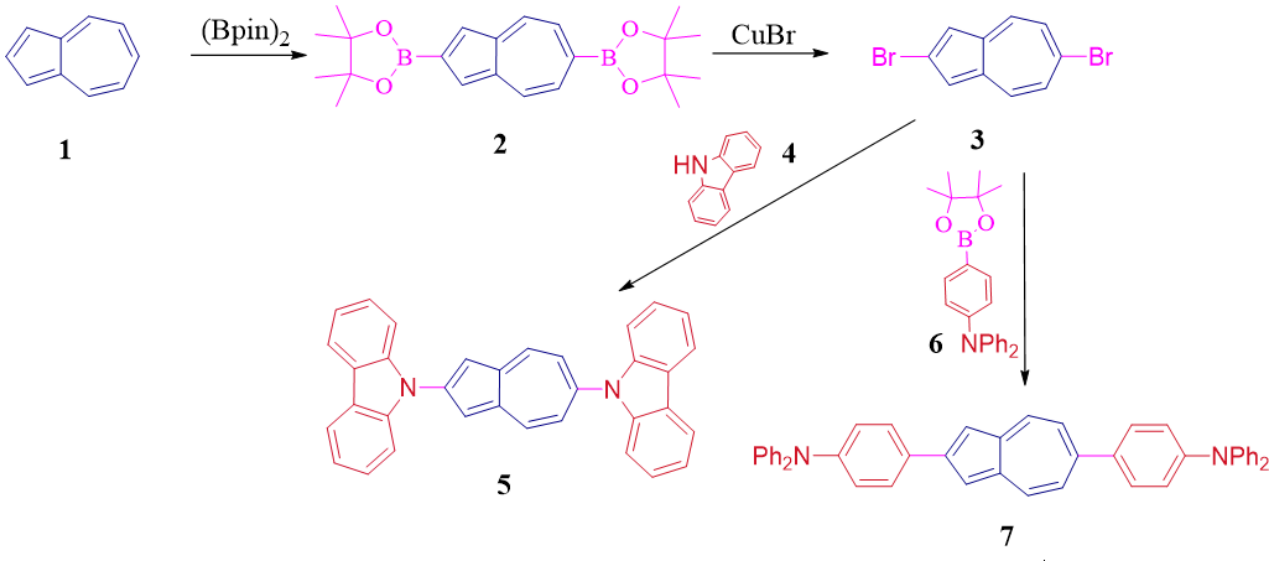
^{1}H ЯМР спектрі (δ, м.д.): 8.23 (д, J = 10.0 Гц, 2H), 7.82 (д, J = 8.5 Гц, 2H), 7.55 (с, 1H), 7.50 (с, 1H), 7.37 (дд, J = 9.8, 3.3 Гц, 4H), 7.37–7.35 (м, 4H), 7.30–7.25 (м, 8H), 7.15–7.12 (м, 16H). ^{13}C ЯМР спектрі (δ, м.д.): 149.60, 148.11, 147.90, 147.51, 147.44, 147.15, 141.51, 135.71, 137.25, 132.22, 130.23, 129.46, 129.30, 128.50, 125.82, 125.51, 125.22, 124.83, 124.24, 123.34, 123.24, 123.86, 123.42, 122.66, 114.05, 113.35.

Жоғары ажыратымдылықтағы масс-спектр (ESI) m/z: $C_{46}H_{35}N_2$ $[M+H]^+$: есептелген 614.0256, табылған 614.0231.

Элементтік талдау ($C_{46}H_{34}N_2$): есептелген -C 89.86, H 5.56, N 4.57; табылған -C 89.56, H 5.42, N 4.64.

Нәтижелер мен талқылау. 1-сызба азулен-

ді қосылыстар -2,6-бис(9H-карбазол)-азулен (5) және 2,6-бис(N,N-дифениланилин)-азулен (7) синтезінің жолдарын көрсетеді.1-сызбада көрсетілгендей, борилазулен 2 азулен 1 мен $(Bpin)_2$ қосылыстарының қатысуымен Ir-катализатордың көмегімен борилдену реакциясы арқылы алынды, бұл әдебиетте сипатталған әдістемелерге сәйкес жүргізілді (Kurotobi, et al., 2003; Fujinaga, et al., 2009) [11]. Кейіннен 2 қосылысының CuBr-пен әрекеттесуі нәтижесінде негізгі аралық өнім -дибромазулен 3 70% шығыммен алынды (Narita, et al., 2018). Одан әрі 3 және 4 қосылыстарының палладий ацетатының қатысуымен жүретін қосылу реакциясы соңғы өнім 5-ті 80% шығыммен алуға мүмкіндік берді (1-сызба). Дифениланилин-азулен 7 қосылысы да ұқсас жолмен, яғни 3 және 6 қосылыстарының ТГФ ерітіндісінде $Pd(PPh_3)_2Cl_2$ катализаторының қатысуымен әрекеттесуі арқылы 83% жоғары шығыммен синтезделді (1-сызба). Донорлық орынбасарлары бар азулендердің 5 және 7 құрылымдары заманауи физика-химиялық әдістер арқылы анықталды (материалдар мен әдістер бөлімі) [12].



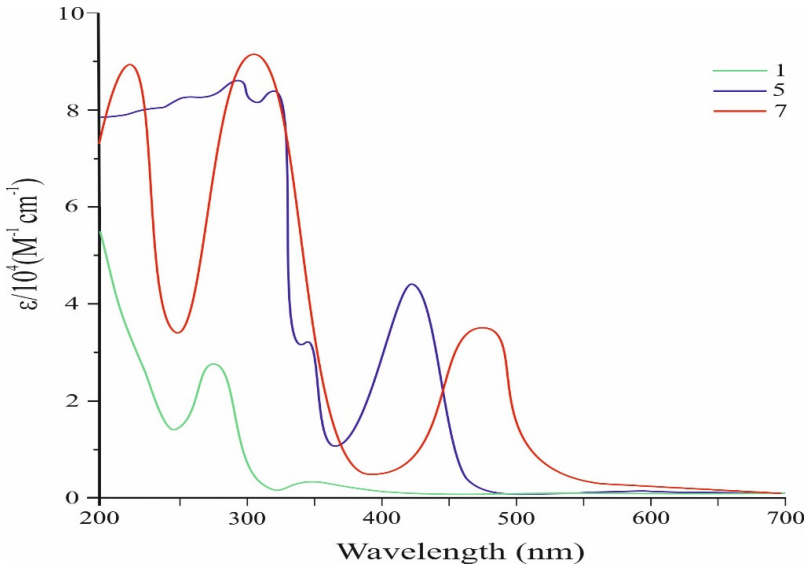
1-сызба. 5 және 7 қосылыстарын алу синтетикалық жолдары

2-сурет пен 1-кестеде 5 және 7 қосылыстарының УФ–көрінетін аймақтағы электрондық жұтылу спектрлері мен сипаттамалары келтірілген.5 қосылысының жұтылу спектрі 428 нм-де максимумға ие жаңа жұтылу жолағының пайда болуын көрсетеді, молярлық жұтылу коэффициенті 43 486 M^{-1} $см^{-1}$ (1-кесте).7 қосылысы да π–π* электрондық ауысуға сәйкес келетін 472 нм-дегі қарқынды жұтылу жолағын көрсетеді, молярлық жұтылу коэффициенті 36 253 M^{-1} $см^{-1}$ (1-кесте) [13]. Көрінетін аймақтағы жоғары молярлық жұтылу коэффициенттері донорлық фрагменттер мен азулен ядросы арасындағы күшті өзара әрекеттесуді көрсетеді, бұл өз кезегінде жарық энергиясын жұтудың тиімділігін арттырады.7 қосылысының көрінетін жұтылу максимумы 5 қосылысына қарағанда 44 нм-ге батохромды ығысқан.7-де π-конъюгациясының кеңеюі мен электрондардың делокализациясының артуы (5-сурет) оның HOMO–LUMO энергетикалық аралығының азаюына (4-сурет) әкеледі, бұл моноалмастырылған азулен 5-пен салыстырғанда жұтылу спектрлеріндегі батохромды ығысуды түсіндіреді[14]. Мұндай құрылымдық модификация электрондық қасиеттердің айқынырақ өзгеруіне себеп болып, нәтижесінде 2,6-бис-алмастырылған азулен жүйесінің фотофизикалық сипаттамаларын жақсартады.5 және 7 қосылыстарының электрондық жұтылуы бастапқы азулен 1-мен салыстырғанда әлдеқайда жоғары (ε = 350 M^{-1} $см^{-1}$) (Shevyakov және т.б., 2003) [8,9].

1-кесте. 5 және 7а қосылыстарының УФ–көрінетін және флуоресценция спектрлерінің деректері

Қосылыс	Еріткіш	Сіңіру		Флуоресценция [b]	
		λabs, нм	ε, $M^{-1}cm^{-1}$	λem,нм	Интенсив-тілік,у.е.
5	Диметил-формамид	296	86 665	468	1 101
		341	32 002		
		428	43 486		
7	Диметил-формамид	296	86 667	530	321
		315	87 886		
		472	36 253		

[a] *Диметилформамид, бөлме температурасы (с, 1 × 10^{-4} М);*
[b] λ_{ex} *(қозу толқынының ұзындығы) 370 нм* ***5*** *үшін и 450 нм* ***7*** *үшін*



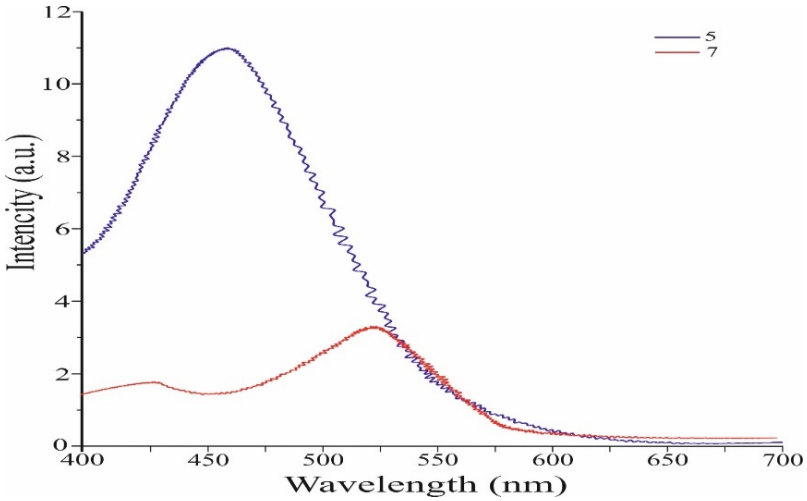
2-сурет. 5 және 7 қосылыстарының УФ - көрінетін спектрлері

Донорлық орынбасқан азулендердің 5 және 7 флуоресценция спектрлері 3-суретте көрсетілген.5 қосылысының спектрі (3-сурет) 370 нм толқын ұзындығымен қоздырғанда 468 нм-де максимумға ие жаңа, қарқынды көрінетін сәулеленуді көрсетеді (1-кесте). [12] 7 молекуласының спектрі де (3-сурет, 1-кесте) 450 нм-де қоздырғанда 530 нм максимумымен кең эмиссиялық жолағын байқатады. Көріп тұрғандай, 7 қосылысының эмиссия максимумы 62 нм-ге қызыл аймаққа қарай ығысқан (1-кесте) [14,15].

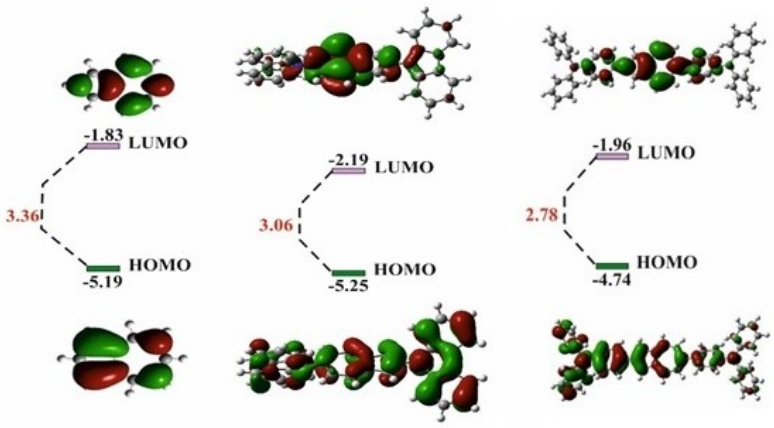
Осы қосылыстардың (стандартты әдістемеге сәйкес өлшенген; стандартты материал ретінде этанолдағы 1,4-бис-(5-фенилоксазол-2-ил) бензол ерітіндісі пайдаланылған [15]) флуоресценциялық кванттық шығымдары (PLQY) сәйкесінше 50% және 60% құрайды.

Маңыздысы - донорлық орынбасқан азулендердің 5 және 7 көк және жасыл аймақта қарқынды фотолю-минесценциялық сәулелену қабілеті бар, ал бастапқы 1 қосылысы мұндай қасиетке ие емес. Нәтижесінде, азуленнің С2 және С6 орындарында электрондонорлық карбазолды және дифениланилинді фрагменттерді енгі-

зу 1 қосылысының көрінетін аймақтағы ерекше қарқынды жұтылу (ε = 43 486 M ¹cm ¹ және ε = 36 253 M ¹cm ¹) және флуоресценциялық сипаттамаларына (интенсивтілік 1 100 б.ө. және 320 б.ө.) алып келеді.



3-сурет. 5 және 7 қосылыстарының флуоресценция спектрлері



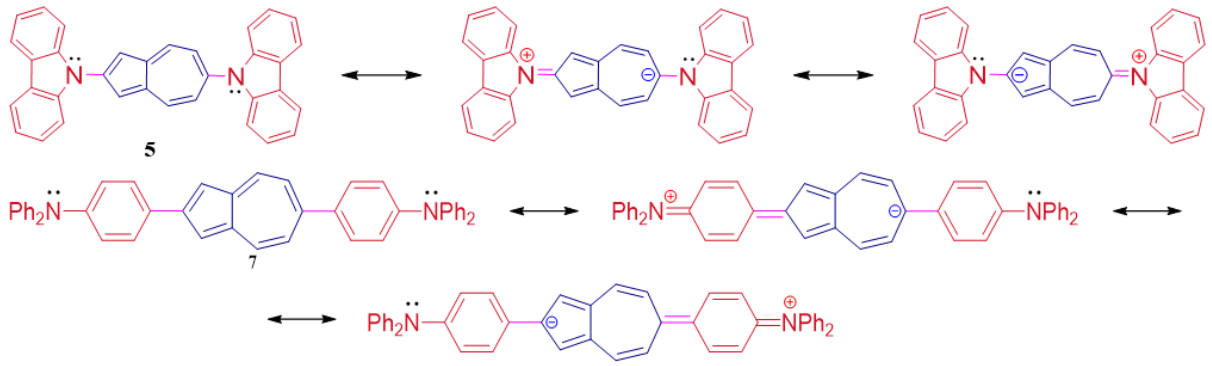
4-сурет. 1 азуленмен салыстырғандағы 5 және 7 қосылыстарының HOMO және LUMO молекулалық орбитальдарының таралуы

Донорлы-орынбасқан 5 және 7 азулендердің электрондық құрылымын және олардың құрылымдық дизайны мен оптикалық қасиеттері арасындағы байланысты түсіну үшін DFT (B3LYP/6-31G*) есептеулері жүргізілді (4-сурет) [14,15]. Есептеу нәтижелері 5 және 7 қосылыстарында ең жоғарғы толтырылған молекулалық орбитальдардың (HOMO) азулен құрылымында және карбазолды/дифениланилинді орынбасарларда біркелкі таралғанын көрсетті. HOMO орбитальдарының мұндай таралуы карбазол 4 (немесе дифениланилин 6) қосылыстарының ең жоғарғы толтырылған орбитальдары мен бастапқы азулен 1-дің HOMO-1 орбиталі арасындағы өзара әрекеттесуден туындауы мүмкін (Tsuchiya және т.б., 2023). Негізгі азуленнің HOMO орбитальдарында 2 және 6 көміртек атомдары түйіндік жазықтықта орналасқан, ал HOMO-1 орбитальдарында бұл атомдар түйіндік жазықтықта болмай,

айқын атомдық-орбитальдық коэффициенттерге ие (Dunlop және т.б., 2023) [10].

Сонымен қатар, DFT есептеулері көрсеткендей, 5 қосылысының HOMO деңгейі –5,25 eV, ал 7 қосылысының HOMO деңгейі -4,74 eV, бұл олардың бастапқы азулен 1-мен салыстырғанда сәйкесінше төмен және жоғары мәндер екенін білдіреді. Сонымен бірге, осы қосылыстардың фронтальды орбитальдары арасындағы энергия айырмашылықтары сәйкесінше 0,3 және 0,58 eV-ға дейін азаяды (4-сурет).

Бұл құбылыс, көрінгендей, бастапқы 1 қосылысы мен оның 5 және 7 туындылары арасындағы молекулалық орбитальдар энергия деңгейлерінің реттілігінің инверсиясымен түсіндіріледі. Нәтижесінде, азулендегі бұрын тыйым салынған π-π* электрондық ауысу рұқсат етіледі, бұл 5 және 7 қосылыстары үшін көрінетін аймақта байқалатын сипаттық жұтылу және эмиссия қасиеттеріне әкеледі (2 және 3-суреттер, 1-кесте) [10].



5-сурет. 5 және 7 π-конъюгацияланған азулендерінің резонанстық құрылымдарының сызбасы. π-электрондардың делокализациясы

Қорытынды. 5 және 7 жаңа азулен туындыларын синтездеу мен зерттеу олардың бірегей оптикалық қасиеттерін анықтады. Азуленнің C2 және C6 орындарындағы донорлық топтардың (карбазол және дифениланилин) қосылуы 400-600 нм диапазонында айқын жұтылу және сәулелену қасиеттерін қамтамасыз етеді. DFT есебі бұл деректерді растап, электрондық құрылымдағы өзгерістерді көрсетті, нәтижесінде бұрын тыйым салынған π→π* электрондық өтулер рұқсат етіледі. Эксперименттік анықталған HOMO энергия деңгейлері есептік мәндермен сәйкес келеді, бұл теориялық талдауды қосымша дәлелдейді. Алынған қосылыстар құрылымдық өзгерістер арқылы олардың қасиеттерін дәл баптау мүмкіндігіне байланысты органикалық электроника мен фотоникада қолдануға зор әлеуетке ие.

Қаржыландыру. *Зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің бағдарламалық-мақсатты қаржыландыру (BR21882309) аясында жүзеге асырылды.*

Әдебиеттер

1. Freudenberg J., Jänsch D., Hinkel F.Immobilization Strategies for Organic Semiconducting Conjugated Polymers//Chem. Rev.-2018.-Vol.118(11)-P.5598-5689. DOI 10.1021/acs.chemrev.8b00063.

2. Roy M., Walton J.H., Fettinger J.C., Balch A.L. Direct Crystallization of Diamine Radical Cations: Carbon-Nitrogen Bond Formation from the Reaction of Triphenylamine with TiCl4, TiBr4, or SnCl4 versus Carbon-Carbon Bond Formation with SbCl5// Chem. Eur. J. - 2022. - Vol.28(17): e202104631. DOI 10.1002/chem.202104631.

3. Zhang J., Chen Z., Yang L., Pan F.F., Yu G.A., Yin, J., Liu S.H. Elaborately Tuning Intramolecular Electron Transfer Through Varying Oligoacene Linkers in the Bis(diarylamino) Systems// Sci. Rep. - 2016. - Vol.6: 36310. DOI 10.1038/srep36310.

4. Wang X., Zhang Z., Song Y., Su Y., Wang X. Bis(phenothiazine)arene diradicaloids: Isolation, characterization and crystal structures // Chem. Commun. - 2015.- Vol.51(59). - P.11822-11825. DOI 10.1039/C5CC03573B.

5. Wu C., Djurovich P. I., Thompson M. E. Study of energy transfer and triplet exciton diffusion in hole-transporting host materials. // Adv. Funct. Mater. - 2009. - Vol.19(19). - P.3157-3164. DOI 10.1002/adfm.200900357.

6. Taniguchi R., Noto N., Tanaka S., Takahashi K., Sarkar S. K., Oyama R., Abe M., Koike T., Akita M. Simple generation of various α-monofluoroalkyl radicals by organic photoredox catalysis: modular synthesis of β-monofluoroketones. // Chem. Commun. - 2021. - Vol.57(21). - P.2609-2612. DOI 10.1039/D0CC08060H.

7. Noto N., Koike T., Akita M. Visible-Light-Triggered Monofluoromethylation of Alkenes by Strongly Reducing 1,4-Bis(diphenylamino)naphthalene Photoredox Catalysis. // ACS Catal. - 2019. -Vol.9(5). - P.4382–4387. DOI 10.1021/acscatal.9b00473.

8. Tsuchiya T., Katsuoka Y., Yoza K., Sato H., Mazaki Y. Stereochemistry, Stereodynamics, and Redox and Complexation Behaviors of 2,2′-Diaryl-1,1′-Biazulenes // Chem.Plus Chem. - 2019. - Vol.84(11). - P.1659-1667. DOI 10.1002/cplu.201900262.

9. Xin H., Hou B., Gao X. Azulene-Based π-Functional Materials: Design, Synthesis, and Applications.//Acc Chem.Res.-2021.-Vol.54(7).- P.1737-1753. DOI 10.1021/acs.accounts.0c00893.

10. Dunlop D., Ludvikova L., Banerjee A., Ottosson H., Slanina T. Excited-State (Anti)Aromaticity Explains Why Azulene Disobeys Kasha's Rule. // J. Am. Chem. Soc. - 2023. - Vol.145(39). - P.21569-21575. DOI 10.1021/jacs.3c07625.

11. Shevyakov S.V., Li H., Muthyala R., Asato A.E., Croney J.C., Jameson D.M., Liu R.S. Orbital control of the color and excited state properties of formylated and fluorinated derivatives of azulene. // J. Phys. Chem. A. - 2003. - Vol.107(18). - P.3295-3299. DOI 10.1021/jp021605f.

12. Kurotobi K., Miyauchi M., Takakura K., Murafuji T., Sugihara Y. Direct Introduction of a Boryl Substituent into the 2-Position of Azulene: Application of the Miyaura and Smith Methods to Azulene. // Eur. J. Org. Chem. - 2003.- Vol.2003(18). - P.3663-3665. DOI 10.1002/ejoc.200300001.

13. Fujinaga M., Murafuji T., Kurotobi K., Sugihara Y. Polyborylation of azulenes. // Tetrahedron. - 2009. - Vol.65(34). - P.7115-7121. DOI 10.1016/j.tet.2009.06.053.

14. Narita M., Toshihiro Y., Saki F., Masayuki H. Synthesis of 2-Iodoazulenes by the Iododeboronation of Azulen-2-ylboronic Acid Pinacol Esters with Copper(I) Iodide // J. Org.Chem. - 2018.- Vol.83(3). - P.1298–1303. DOI 10.1021/acs.joc.7b02820.

15. Tsuchiya T., Hamano T., Inoue M., Nakamura T., Wakamiya A., Mazaki Y. Intense absorption of azulene realized by molecular orbital inversion. // Chem. Commun. - 2023. - Vol.59(71). - P.10604-10607. DOI 10.1039/D3CC02311G.

Авторлар туралы мәліметтер

Искандеров А. Н. - академик, Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университетінің аға оқытушысы, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: aby93@yandex.kz;

Мерхатұлы Н. - химия ғылымдарының докторы, академик, Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университетінің профессоры, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: merhatuly@ya.ru;

Жокижанова С. К.- химия ғылымдарының кандидаты, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің қауымдастырылған профессоры, Астана, Қазақстан, e-mail: saltanat_zh75@mail.ru;

Искандеров А. Н.- академик, Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университетінің ғылыми қызметкері, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: dr-amantay@ya.ru;

Омаров Х.Б. - ҚР ҰҒА академигі, техника ғылымдарының докторы, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университетінің профессоры, Астана, Қазақстан, e-mail: homarov@mail.ru;

А.О. Булумбаева - академик, Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университетінің магистранты, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: bulumbaevaa02@mail.ru.

Information about the authors

Iskanderov A. N. - senior lecturer, Karaganda National Research university named after academician E. A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: aby93@yandex.kz;

Merkhatuly N.- doctor of chemical sciences, professor at Karaganda National Research university named after academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: merhatuly@ya.ru;

Zhokizhanova S. K. - candidate of chemical sciences, associate professor, S. Seifullin Kazakh agrotechnical research university, Astana, Kazakhstan, e-mail: saltanat_zh75@mail.ru;

Iskanderov A. N. -research associate, Karaganda National Research university named after academician E. A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: dr-amantay@ya.ru;

Omarov Kh.B. - academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, doctor of technical sciences, professor at the Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail: homarov@mail.ru;

A.O. Bulumbaeva - master’s student of Karaganda National Research university named after academician E. A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: bulumbaevaa02@mail.ru.

МРНТИ 61.33.39 **https://doi.org/**

ВЛИЯНИЕ АМОРФНОГО КРЕМНИЯ НА ФИЗИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЫ

[1]М.Ш. Сулейменова, [1]С.Т. Дәуметова, [2]E. Varol, [1]Г.О. Бугубаева, [1]М.С. Жетенова,

[1]Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан,
[2]Эскишехирский технический университет, Эскишехир, Турция

Корреспондент-автор: daumetova83@mail.ru

Физико-химическая активность соединений SO_2 в почве - это их способность взаимодействовать с другими веществами, менять физические и химические свойства почвы, например, образовывать устойчивые соединения, которые влияют на структуру и плодородие почвы. Биологическая активность связана с тем, насколько эти соединения участвуют в жизни микроорганизмов, стимулируя их развитие, способствуя обменным процессам и повышая устойчивость растений к болезням. Что касается стабильности влажности и плотности в почве - это показатели, отражающие, как хорошо почва удерживает влагу и насколько она устойчива к сжатию или разрыхлению. Высокая стабильность влажности обеспечивает постоянный источник воды для растений, а оптимальная плотность - хорошую аэрацию и проникновение корней.

SO_2 биопрепарат - это настоящее инновационное средство в науке, сочетающий в себе природные свойства SO_2 и биологические компоненты, стимулируя рост растений, укрепляя их иммунитет и повышая их устойчивость к стрессам и болезням. Благодаря своему уникальному составу, препарат способствует улучшению структуры почвы, увеличивает её влагосодержание и стабильность плотности, что создает оптимальные условия для развития корневых систем и повышения урожайности. Использование данного биопрепарата позволяет снизить использование химических пестицидов и удобрений, делая сельское хозяйство более экологичным и устойчивым.

В данной работе описана инновационная технология получения биопрепарата на основе SO_2 для растений. Метод основан на термической обработке рисовой шелухи в лабораторных условиях, что позволяет эффективно извлекать активные компоненты и увеличивать их усвояемость. Использование такого подхода способствует повышению устойчивости растений к стрессам и стимулирует их рост, делая технологию перспективной для экологически чистого аграрного производства.

В статье представлен обзор основных аспектов биогеохимии аморфного кремнезема в почве. Кремнийорганические соединения в почве изучены слабо. Также в статье описан опыт термической обработки рисовой шелухи и влияние температуры на свойства полученного SO_2. Представленные данные основаны на методике определения влажности и плотности в почве. Физико-химической и биологической активности соединений SO_2 и стабильности влажности и плотности в почве.

Ключевые слова: диоксид кремния, биопрепарат, почва, рисовая шелуха, гуминовая кислота, влажность, плотность.

EFFECT OF AMORPHOUS SILICON ON THE PHYSICAL AND CHEMICAL STATE OF SOIL

[1]M. Suleimenova, [1]S. Daumetova, [2]E. Varol, [1]G. Bugubaeva, [1]M. Zhetenova

[1]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan,
[2]Eskisehir Technical University, Eskisehir, Turkey,
e-mail: daumetova83@mail.ru

The physicochemical activity of SO_2 in the soil is their ability to interact with other substances, change the physical and chemical properties of the soil, for example, form stable compounds that affect the structure and fertility of the soil. Biological activity is related to the extent to which these compounds

participate in the life of microorganisms, stimulating their development, promoting metabolic processes and increasing plant resistance to diseases. As for the stability of moisture and density in the soil, these are indicators that reflect how well the soil retains moisture and how resistant it is to compression or loosening. High moisture stability provides a constant source of water for plants, and optimal density – good aeration and root penetration.

The SO_2 biopreparation is a truly innovative tool in science, combining the natural properties of SO_2 and biological components, stimulating plant growth, strengthening their immunity and increasing their resistance to stress and disease. Due to its unique composition, the preparation helps improve the soil structure, increases its moisture content and density stability, which creates optimal conditions for the development of root systems and increased yields. The use of this biological product allows reducing the use of chemical pesticides and fertilizers, making agriculture more environmentally friendly and sustainable.

This paper describes an innovative technology for obtaining a SO_2 biopreparation for plants. The method is based on thermal treatment of rice husks in laboratory conditions, which allows for the effective extraction of active components and increases their digestibility. The use of this approach helps to increase plant resistance to stress and stimulates their growth, making the technology promising for environmentally friendly agricultural production.

The article presents an overview of the main aspects of the biogeochemistry of amorphous silica in soil. Organosilicon compounds in soil have been poorly studied. The article also describes the experience of thermal treatment of rice husk and the effect of temperature on the properties of the resulting SO_2. The presented data are based on the method of determining the moisture and density in the soil. Physicochemical and biological activity of SO_2 compounds and the stability of moisture and density in the soil.

Keywords: silicon dioxide, biopreparation, soil, rice husks, humic acid, humidity, density.

АМОРФТЫ КРЕМНИЙДІҢ ТОПЫРАҚТЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ХИМИЯЛЫҚ КҮЙІНЕ ӘСЕРІ

[1]М.Ш. Сулейменова, [1]С.Т. Дәуметова✉, [2]E. Varol, [1]Г. Бугубаева, [1]М.С. Жетенова

[1]Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазахстан,
[2]Ескішехир техникалық университеті, Ескішехир, Түркия,
e-mail: daumetova83@mail.ru

Топырақтағы SO_2 қосылыстарының физика-химиялық белсенділігі олардың басқа заттармен әрекеттесуі, топырақтың физикалық-химиялық қасиеттерін өзгертуі, мысалы, топырақтың құрылымы мен құнарлылығына әсер ететін тұрақты қосылыстар түзуі. Биологиялық белсенділік бұл қосылыстардың микроорганизмдердің тіршілігіне қатысу дәрежесіне байланысты, олардың дамуын ынталандырады, зат алмасу процестерін жылдамдатады және өсімдіктердің ауруларға төзімділігін арттырады. Топырақтағы ылғал мен тығыздықтың тұрақтылығына келетін болсақ, бұл топырақтың ылғалды қаншалықты жақсы сақтайтынын және оның қысылу немесе қопсытуға қаншалықты төзімді екенін көрсететін көрсеткіштер. Ылғалдылықтың тұрақтылығы өсімдіктер үшін тұрақты су көзін қамтамасыз ету, ал оңтайлы тығыздық жақсы аэрация мен тамырдың беріктігін қамтамасыз етеді.

Құрамында SO_2 бар биопрепарат - бұл SO_2 мен биологиялық компоненттердің табиғи қасиеттерін біріктіретін, өсімдіктердің өсуін ынталандыратын, олардың иммунитетін күшейтетін және стресс пен ауруға төзімділігін арттыратын ғылымдағы нағыз инновациялық құрал. Бірегей құрамының арқасында препарат топырақ құрылымын жақсартуға көмектеседі, оның ылғалдылығы мен тығыздығының тұрақтылығын арттырады, бұл тамыр жүйесін дамыту және өнімділікті арттыру үшін оңтайлы жағдай жасайды. Бұл биопрепаратты пайдалану химиялық пестицидтер мен тыңайтқыштарды пайдалануды азайтуға, ауыл шаруашылығын экологиялық таза және тұрақты етуге

мүмкіндік береді.

Бұл мақалада өсімдіктерге арналған SO_2 негізіндегі биопрепарат алудың инновациялық технологиясы сипатталған. Әдіс белсенді компоненттерді тиімді бөліп алуға және олардың сіңімділігін арттыруға мүмкіндік беретін зертханалық жағдайларда күріш қабығын термиялық өңдеуге негізделген. Бұл тәсілді қолдану өсімдіктердің күйзеліске төзімділігін арттыруға көмектеседі және олардың өсуін ынталандырады, бұл технологияны экологиялық таза ауылшаруашылық өндірісі үшін перспективалы етеді.

Мақалада топырақтағы аморфты кремнеземнің биогеохимиясының негізгі аспектілеріне шолу берілген. Топырақтағы кремнийорганикалық қосылыстар нашар зерттелген. Мақалада күріш қабығын термиялық өңдеу тәжірибесі және алынған SO_2 қасиеттеріне температураның әсері де сипатталған. Ұсынылған мәліметтер топырақтағы ылғалдылық пен тығыздықты, SO_2 қосылыстарының физикалық, химиялық және биологиялық белсенділігін және топырақтағы ылғал мен тығыздықтың тұрақтылығын анықтау әдісіне негізделген.

Түйін сөздер: кремний диоксиді, биопрепарат, топырақ, күріш қауызы, гумин қышқылы, ылғалдылық, тығыздық.

Введение. Кремнийорганические соединения в почве - это неусваиваемые частицы, формирующие её структуру и влияющие на рост растений. Они образуются в результате взаимодействия кремния с органическими веществами и играют важную роль в укреплении тканей растений и повышении их устойчивости к неблагоприятным условиям окружающей среды.

Установлено, что общее количество кремнезема в литосфере составляет 58,3% (для сравнения: лунный грунт - 41%, каменные метеориты - в среднем 21%). Количество кремния в почве зависит от ее гранулометрического состава: в глинистой почве оно составляет примерно 20-35%, в песчаной - 45-49% [1,2].

Фактически для поддержания стабильности растительных ресурсов в сельскохозяйственном производстве очень важна разработка технологии получения биологического препарата из химического элемента кремния. Это связано с тем, что внесение кремния (Si) в растительные ресурсы способствует повышению устойчивости ко многим стрессовым, инфекционным, вирусным заболеваниям и активно защищает растения от грибов и травоядных насекомых [3,4]. Поскольку растения, обработанные биопрепаратом кремния, не оставляют остатков пестицидов в продуктах питания и окружающей среде, они не наносят вреда плодородию почвы, как удобрения. Кремнезем поглощается из почвы корнями растений и транспортируется к надземным частям растения транспирационным потоком. Кремний (Si), перенесенный в ткани растений, снижает абиотический стресс и придает растению твердость и силу. Кремний содержится в стенках растительных клеток, трихомах, внутриклеточных пространствах и репродуктивных органах. В целом органы растений содержат 0,1-10% кремния по массе [5,6].

Известно, что кремний - второй по распространенности элемент на нашей планете после кислорода (рисунок - 1). Определено, что общее количество кремнезема в литосфере составляет 58,3% (для сравнения: лунный грунт - 41%, каменные метеориты - в среднем 21%) [7,8].

Кремний впервые показано в работах Дэви в 1814 году как важный элемент питания растений. Он предположил, что кремний накапливается в эпидермальных тканях растений, создавая защитный барьер от насекомых-вредителей и болезней [9,10]. В 1840 г. на основании сведений об элементном составе растений Ю. Либих пришел к выводу о необходимости применения кремниевых удобрений. Он провел первый опыт с силикатом натрия на сахарной свекле. Помимо увеличения массы корнеплодов, Ю.Либих зафиксировал увеличение содержания сахара при использовании кремниевых удобрений [11,12]. В 1856 году Лоуз начал эксперимент «Травяной парк» с использованием силиката натрия

на станции Ротамстед в Англии. Эта практика продолжается до сих пор, и кремниевые удобрения позволяют увеличить максимальную урожайность в таблице 1 [13,14].

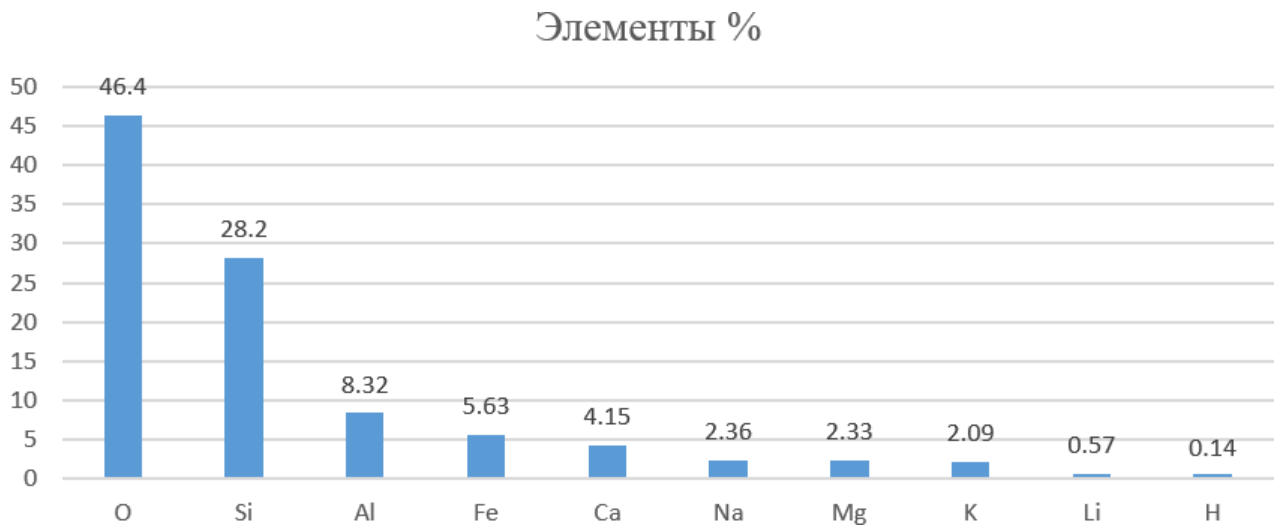


Рис.1 - Распределение элементов в земной коре

Таблица 1 - Содержание кремния в некоторых растениях.

Растение	**Si по сухому весу %**	**Растение**	**Si по сухому весу %**
Equisetum	0,7–8,99	Avena sativa	0,65–3,74
Picea excelsa	0,31–1,75	Nicotina tabacum	0,16–0,65
Beta vulgaris	0,70	Theobroma cacao	2,08–2,90
Helianthus annuus, hulls	1,23–2,27	Gossypium barbadence	0,28–0,71
Lactuca sativa	1,32	Hordeum vulgare	0,42–4,70
Oryza sativa	2,72–8,40	Secale cereale	0,46–1,23
Triticum aestivum	0,16–3,11	Zea mays	0,32–0,78

В 1870 году великий русский химик Д.И.Менделеев предложил использовать аморфный диоксид кремния в качестве кремниевого удобрения. Он предложил провести первые в России полевые агрохимические опыты с этим соединением. Спустя несколько лет Максвелл, американский почвовед и агрохимик, провел первые исследования по наличию кремния в различных почвах для растений [15,16].

Материалы и методы. Способ получения биопрепарата кремния из золы растений очень эффективен. Кремний – макроэлемент, питающий растения зольного типа, а его соединения относятся к группе неотъемлемых компонентов любого растительного организма. Количество кремния в золе культурных растений в среднем составляет от 0,16 до 8,4%. Наибольшее количество Si содержится в злаках, его количество достигает 8-16%, а в рисе - 15-20% SiO_2. Применение кремнийсодержащих веществ в зерновых культурах способствует увеличению листовой поверхности растений, стимулирует общий рост, ускоряет начало фаз созревания зерна [17].



Рис.2 - Рисовая шелуха



Рис.3 - Цвета сгоревшей рисовой шелухи при разных температурах

В качестве источника активного кремния в селекции растений рассматривалось свойства аморфный диоксид кремния из рисовой шелухи (таблица 2)

Таблица 2 - Свойства аморфного диоксида кремния из рисовой шелухи.

Материал	pH (H2O) %	CaO %	MgO %	Fe2O3 %	P2O5 %	Al2O3 %	SiO2 %	SiO2 аморфный %
аморфный диоксид кремния (рисовая шелуха)	6,2-8,5	0	0,31	0,57	0	0,23	93,1	90

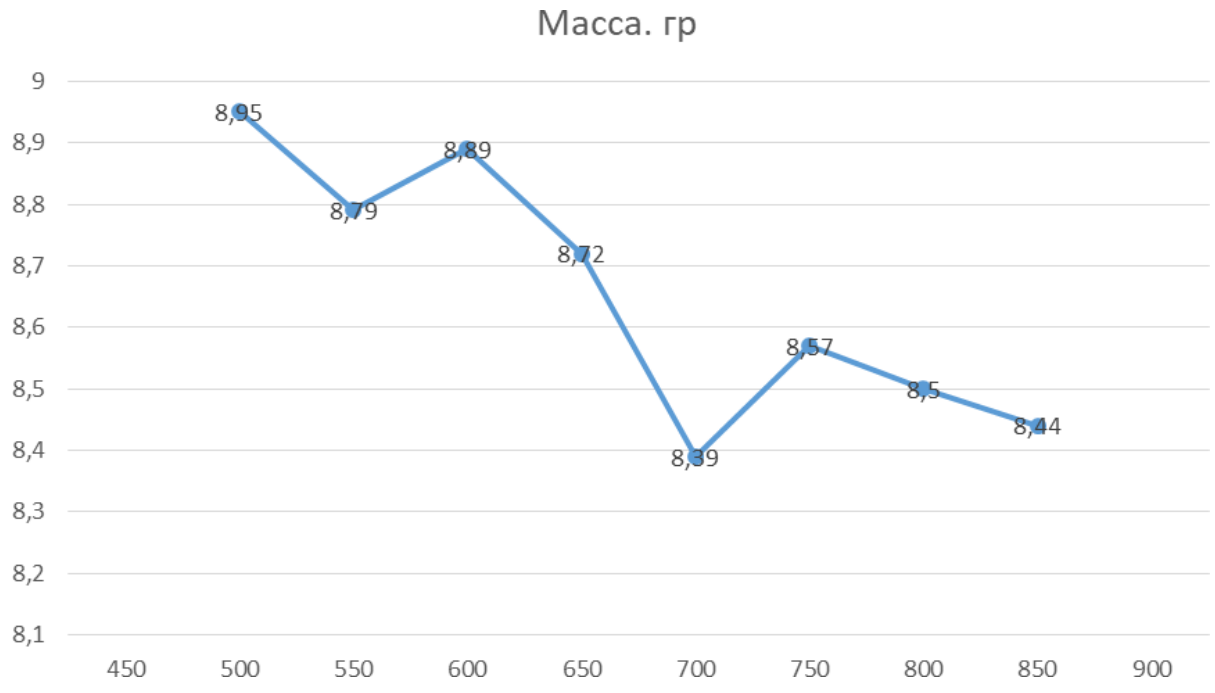


Рис.4 - Масса золы рисовой шелухи после термообработки, м/г

К. Аскарулы и др. в статье рисовая шелуха - это остаток сельскохозяйственного производства, из тонн отходов рисоводства ежегодно в лабораторных условиях можно получить важный биопрепарат кремния для растений [18]. Прежде всего рисовую шелуху несколько раз промывают проточной водой, а затем сушат в течение 12 часов при температуре 120°C. 50 г сушеной рисовой шелухи взвешивают и нагревают в муфельной печи при 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800 и 850°C в течение 4 часов. В процессе нагрева были выявлены следующие условия. При 650-700°C оксид кремния начинает образовывать кристаллическую структуру; При 800°C углерод сгорает полностью (остается чистый кремний); рисовая шелуха меняет цвет в зависимости от температуры, например: 500-550°C цвет желто-серый, 600- 650°C цвет белый, выше 700°C имеет сероватый оттенок, как показано на рисунке - 4.

Полученный диоксид кремния химическим способом растворяют и положить в стеклянный посуду, к нему был добавлен гидроксид натрия (NaOH) получили силикагель (Na_2SiO_3) и перемешивали при 95°C в течение 2 ч на магнитной мешалке (метод непрерывного перемешивания) [19,20].

Химическая реакция:

$$NaOH + SiO_2 \rightarrow Na_2SiO_3 + H_2 \qquad (1)$$

Затем к полученной белой жидкости (силикагелю) добавляли соляную кислоту (концентрированная HCl) для уменьшения содержания твердого кремнезема. После этого оксид кремния фильтровали. В результате образуется чистый кремнезем, который несколько раз промывают горячей дистиллированной водой для удаления хлора (Cl) [21].

Химическая реакция:

$$Na_2SiO_3 + 2HCl \rightarrow H_2SiO_3 \downarrow + 2NaCl \qquad (2)$$

$$H_2SiO_3 \text{ (кремниевая кислота)} \rightarrow SiO_2 + H_2O \qquad (3)$$

Вышеуказанные факторы побудили нас рассмотреть альтернативный материал - инновационную технологию - для производства кремниевых биопрепаратов. Для этого мы сначала изучили состав почвы. Поскольку кремний является одним из наиболее распространенных элементов земной коры, трудно оценить его роль в формировании плодородия почвы и многообразии процессов, происходящих в почве.

Обсуждение и результаты. В ряде отечественных и зарубежных работ отмечается особое значение кремния в формировании различных агрохимических и агрофизических свойств почвы, а также в контроле многих геохимических и почвенных процессов. Влажность почвы – это процентное содержание воды в почве (диаграмма-3,4). Этот показатель не является морфологическим признаком, от него зависит проявление почти всех морфологических свойств. Это объясняется морфогенетическими особенностями почвенных участков при лабораторном определении влажности почвы.

Процент влажности почвы без удобрений составляет 21,1% на глубине 0-20 см; 12,9% на глубине 20-31 см; 7,6% на глубине 31-62 см; 26,1% на глубине 62-85 см; 20,3% на глубине 85-92 см;

В некоторых горизонтах слоев почвы, подвергающихся деградации без первоначального внесения удобрений, снижение влажности почвы происходит при содержании каменистых и щебнистых плотных пород, где влага не удерживается и происходит процесс фильтрации.

На рисунке - 6 показано, что при выращивании растений с использованием биопрепарата кремния влажность почвы стабилизируется.

Процент влажности почвы с удобрением составляет 26% на глубине 0-20 см; 23,7% на глубине 20-31 см; 15,2% на глубине 31-62 см; 12,9% на глубине 62-85 см; 12,1% на глубине 85-92 см.

Значительное наличие почвенной влаги в верхних горизонтах объясняется накоплением влаги в плотном плодородном слое почвы и обильной подстилкой растений, что снижает процесс испарения.

Степень и направление влияния кремниевых удобрений и почвенных мелиорантов на физические свойства почвы зависит от свойств почвы

и вносимых удобрений [22,23]. Мунк сообщает об улучшении физических свойств почвы при дозах кремнезема 200–800 кг/га в год [24]. Поликремниевые кислоты, образующиеся при применении кремниевых препаратов, способны связывать частицы почвы и способствуют улучшению структуры почвы за счет образования кремниевых мостиков между зернами осадка. При этом повышаются агрегативная, влагоемкость, обменная и буферная способность легких почв. Общие физические свойства включают плотность почвы, плотность твердых частиц и пористость. Объемная масса почвы - это масса единицы объема абсолютно сухой пробы почвы, взятой в ненарушенном поле. Насыпная плотность 1,5 г/см^3 и более свидетельствует о чрезмерной плотности почвы, что создает неблагоприятные условия для растений. Для большинства культурных растений оптимальная плотность полевого горизонта составляет 1,0-1,2 г/см^3 [25,26]. Оценки плотности верхнего слоя почвы приведены в табл.3.



Рис.5 - Процент влажности почвы без удобрений



Рис.6 - Процент влажности почвы после внесения биопрепарата кремния

Теперь мы можем увидеть плотность деградированной почвы без удобрений на нашем объекте исследования (рисунок 7). Данные показывают, что объемная плотность деградированных почв в верхнем горизонте составляет 1,2 г/см^3, а в почвенном слое наблюдается постепенное уплотнение почвы от 10 до 50 см - 1,4 г/см^3.

Для анализа исследовали неповрежденную почву и определили объемную массу. Объемная плотность в верхнем горизонте составляет 0,9 г/см^3, а в нижних - 1,2 г/см^3 (рисунок 8).

Таблица 3 - Оценка плотности грунта

Плотность, г/см³	Оценка	Плотность, г/см³	Оценка
1,0	Почва рыхлая или богатая органическими веществами.	1,3 – 1,4	Почва очень уплотненная
1,0 – 1,1	Свежевспаханная почва	1,4 - 1,6	Типичные значения орошаемых горизонтов (кроме чернозема)

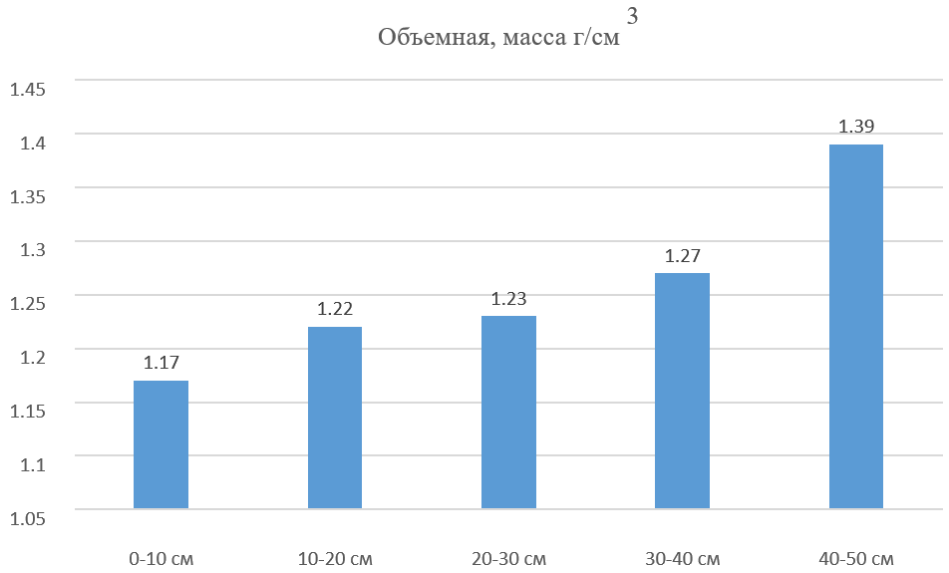


Рис.7 - Плотность почвы без удобрений

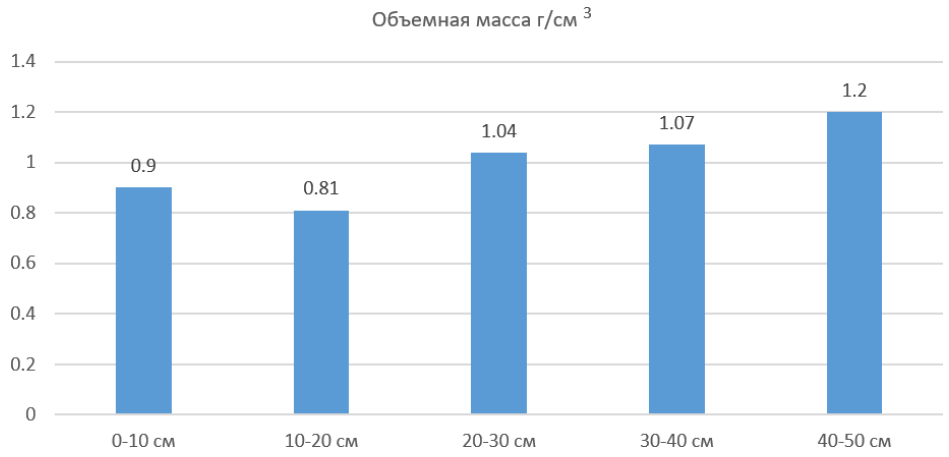


Рис.8 - Плотность грунта с кремниевым биопрепаратом

Из-за гибели растения свойства почвы, особенно физические, существенно изменяются. Уплотнение почвы, вызванное копытами домашнего скота, является неизбежным следствием чрезмерного выпаса скота. Негативное воздействие человека на природную среду проявляет-

ся не только в утрате биологического разнообразия и устойчивости экосистем, но и в значительном снижении продуктивности природных и антропогенных ландшафтов из-за утраты плодородия почв в результате прогрессирующего землетрясения. разработка. процессы их разложения (эрозия, дефляция, дегумификация, уплотнение, засоление и др.).

Для сравнения из такого же количества исследовали почву с удобрением и определили объемную массу. Объемная плотность в верхнем горизонте составляет 1,2 г/см^3, а в нижних - 0,81 г/см^3.

Выводы. Технология получения важного для растения биопрепарата кремния создана в лабораторных условиях с использованием технологии термической обработки рисовой шелухи К. Аскарулы.

Влажность почвы определяли относительно деградированной почвы и почвы, обработанной биопрепаратом кремния. Значительное количество влаги в верхнем горизонте объясняется накоплением влаги в плотном плодородном слое почвы и обильной подстилкой растений, что снижает процесс испарения. Уменьшение влажности почвы связано с тем, что влага не сохраняется в плотных каменисто-гравийных породах и происходит процесс фильтрации. Процент влажности почвы без удобрений составляет 21,1% на глубине 0-20 см; 12,9% на глубине 20-31 см; 7,6% на глубине 31-62 см; 26,1% на глубине 62-85 см; 20,3% на глубине 85-92 см. Процент влажности почвы с удобрением составляет 26% на глубине 0-20 см; 23,7% на глубине 20-31 см; 15,2% на глубине 31-62 см; 12,9% на глубине 62-85 см; 12,1% на глубине 85-92 см.

Плотность почвы определяли в сравнении с деградированной почвой и почвой с биопрепаратом кремния. Данные показали, что объемная масса выветрелой почвы представляет собой постепенное уплотнение почвы в почвенном слое. В почвах, обработанных биопрепаратом кремния, процесс уплотнения протекает слабо, поскольку кремний обеспечивает циркуляцию воды и других минеральных веществ в почве. Для анализа исследовали неповрежденную почву и определили объемную массу. Объемная плотность в верхнем горизонте составляет 0,9 г/см^3, а в нижних - 1,2 г/см^3.

Для сравнения исследовали почву с удобрением и определили объемную массу. Объемная плотность в верхнем горизонте составляет 1,2 г/см^3, а в нижних - 0,81 г/см^3

Разработанная технология получения кремниевого биопрепарата из рисовой шелухи демонстрирует высокую эффективность, экологическую безопасность и перспективность для внедрения в агропромышленный комплекс. Использование термической обработки удается максимально сохранить и активировать биологически ценную составляющую сырья.

Внедрение системы применения инновационных органических удобрений и многофункциональных биологических препаратов в технологии выращивания растений в рамках современного органического земледелия обеспечивает экологическую защиту полевых культур. А также поможет обеспечить баланс элементов минерального питания и органического вещества в почве без дефицита и получать экологически чистую растительную продукцию для производства продовольствия.

Литература

1. Mehrabanjoubani P., Abdolzadeh A., Sadeghipour H. R.. Impacts of silicon nutrition on growth and nutrient status of rice plants grown under varying zinc regimes // Theoretical and Experimental Plant Physiology. - 2014.- Vol.27. - P.19-29.DOI 10.1007/s40626-014-0028-9.

2. Etesami, H., Adl S. M. Can interaction between silicon and non-rhizobial bacteria help in improving nodulation and nitrogen fixation in salinity-stressed legumes? A review // Rhizosphere. - 2020. - Vol.15(22).- P.100 - 229. DOI 10.1016/j.rhisph.2020.100229.

3. Fatema K. The effect of silicon on strawberry plants and it's role in reducing infection by Podosphaera aphanis// Doctoral thesis, University of Hertfordshire. - 2014. DOI 10.18745/th.14445.

4. Sakr N. The role of silicon (Si) in increasing plant resistance against fungal diseases // Hellenic Plant Protection Journal. - 2016. - Vol.9 (1). - P.1-15. DOI 10.1515/hppj-2016-0001.

5. Anggraeni L. W. [et al.] Effect of biostimulant and silica application on sugarcane (Saccharum officinarum L.) production // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2022. - Vol. 974(1). - P.12-17. DOI 10.1088/1755-1315/974/1/012077.

6. Shen X. F. [et al.] Effects of intercropping with peanut and silicon application on sugarcane growth, yield and quality // Sugar Tech. - 2019. - Vol.21(3). - P.437-443. DOI 10.1007/s12355-018-0667-2.

7. Atencio R. [et al.] Effect of silicon and nitrogen on Diatraea tabernella Dyar in sugarcane in Panama // Sugar Tech. - 2019. - Vol. 21(1). - P.113–121. DOI 10.1007/s12355-018-0634-y.

8. Etienne P. [et al.] Root silicon treatment modulates the shoot transcriptome in Brassica napus L. and in particular upregulates genes related to ribosomes and photosynthesis // Silicon. – 2020. – Vol.13. - P.4047-4055. DOI 10.1007/s12633-020-00710-z.

9. Mahmoud L.M. [et al.] Silicon nanoparticles mitigate oxidative stress of in vitro-derived banana (Musa acuminata 'Grand Nain') under simulated water deficit or salinity stress // South African Journal of Botany. - 2020. - Vol.132. - P.155-163. DOI 10.1016/j.sajb.2020.04.027.

10. Teixeira G.C.M. [et al.] Silicon increases leaf chlorophyll content and iron nutritional efficiency and reduces iron deficiency in sorghum plants // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. - 2020. - Vol.20. - P.1311-1320. DOI 10.1007/s42729-020-00214-0.

11. Etesami H., Jeong B.R. Silicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants // Ecotoxicology and environmental safety. - 2018. - Vol.147. - P.881-896. DOI 10.1016/j.ecoenv.2017.09.063.

12. Bhat J.A. [et al.] Role of silicon in mitigation of heavy metal stresses in crop plants // Plants. - 2019. - Vol.8(3). - P.71-78. DOI 10.3390/plants8030071.

13. Li Z. [et al.] Combined silicon-phosphorus fertilization affects the biomass and phytolith stock of rice plants//Frontiers in plant science.- 2020. - Vol.11.-P.67. DOI 10.3389/fpls.2020.00067.

14. Laîné P. [et al.] Silicon promotes agronomic performance in Brassica napus cultivated under field conditions with two nitrogen fertilizer inputs//Plants.-2019.-Vol.8(5):137. DOI 10.3390/plants8050137.

15. Wang L. [et al.] Effects of silicon and phosphatic fertilization on rice yield and soil fertility // Journal of Soil Science and Plant Nutrition.- 2020.-Vol.20(5).-P.557-565. DOI 10.1007/s42729-019-00145-5.

16. Z. Ahmad [et al.] Enhancing drought tolerance in wheat through improving morpho-physiological and antioxidants activities of plants by the supplementation of foliar silicon // Phyton-International Journal of Experimental Botany.-2020.-Vol 89 (3). - P.529-539. DOI 10.32604/phyton.2020.09143.

17. Araujo L., Paschoalino R., Rodrigues F. Microscopic. Aspects of Silicon–Mediated Rice Resistance to Leaf Scald // Phytopathology. - 2015. - Vol.106(2). - P.132-141. DOI 10.1094/PHYTO-04-15-0109-R.

18. Askaruly K., Azat S., Eleuov M., Kerimkulova A.R., Zhantikeev U.N., Berdihanov A.E. Poluchenie oksida kremnija iz risovoj sheluhi metodom termicheskoj obrabotki // Gorenie i plazmohimija.-2019.-№17(3).- S. 183-188. DOI 10.18321/cpc324. [in Russian]

19. Anggraeni L. W. [et al.] Effect of biostimulant and silica application on sugarcane (Saccharum officinarum L.) production // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - IOP Publishing.-2022.-Vol.974(1). - P.12-17. DOI 10.1088/1755-1315/974/1/012077.

20. Moradtalab N. [et al.] Silicon improves chilling tolerance during early growth of maize by effects on micronutrient homeostasis and hormonal balances // Frontiers in plant science. - 2018.-Vol 9: 420. DOI 10.3389/fpls.2018.00420.

21. Kim Y. H. [et al.] Silicon regulates antioxidant activities of crop plants under abiotic-induced oxidative stress: a review//Frontiers in Plant Science.-2017.-Vol.8:510. DOI 10.3389/fpls.2017.00510.

22. Luyckx M. [et al.] Silicon and plants: current knowledge and technological perspectives // Frontiers in Plant Science.-2017.- Vol. 8. -P.411-418. DOI 10.3389/fpls.2017.00411.

23. Bocharnikova, E. A. Matichenkov V. V. Influence of plant associations on the silicon cycle in the soil-plant ecosystem // Applied Ecology and Environmental Research.-2012. -Vol.10(4). -P.547-560. DOI 10.15666/AEER%2F1004_547560.

24. Zargar S. M. [et al.] Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system // 3 Biotech.-2019. -Vol.9: 73. DOI 10.1007/s13205-019-1613-z.

25. Hawerroth C., Araujo L., Bermúdez-Cardona M. Silicon-mediated maize resistance to macrospora leaf spot // The journal of Tropical Plant Pathology.- 2018.-Vol.44.- P.192-196. DOI 10.1007/s40858-018-0247-8.

26. Ren Z., Gao H., Zhang H., Liu X.. Effects of fluxes on the structure and filtration properties of diatomite filter aids // International Journal of Mineral Processing. - 2014. - Vol.130. - P.28–33. DOI 10.1016/j.minpro.2014.05.011.

Сведения об авторах

Сулейменова М.Ш. - к.хн., доцент, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: s.mariyash@mail.ru;

Дәуметова С.Т. - магистр, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: daumetova83@mail.ru;

Esin Varol - профессор Др, Эскишехирский технический университет, Эскишехир, Турция, e-mail: eapaydin@eskisehir.edu.tr;

Бугубаева Г. - к.х.н., ассистент професора, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: bugub@mail.ru;

Жетенова М.С. - докторант, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: zhetenova_madina@mail.ru.

Information about the authors

Suleimenova M. - Associate Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: s.mariyash@mail.ru;

Daumetova S. - Master, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: daumetova83@mail.ru;

Esin Varol - Professor Dr., Eskisehir Technical University, Eskisehir, Turkey, e-mail: eapaydin@eskisehir.edu.tr;

Bugubaeva G. - Assistant Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: bugub@mail.ru;

Zhetenova M. - PhD student, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: zhetenova_madina@mail.ru.

IRSTI 31.21.01 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-778**

STUDY OF PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF ADSORBENTS OBTAINED BASED ON TEXTILE CORD

[1]M.K. Kazankapova, [1]B.T. Yermagambet, [1,2]U.M. Kozhamuratova, [2]Zh.E. Jakupova

[1]«Institute of Coal Chemistry and Technology» LLP, Astana, Kazakhstan,
[2]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Corresponding author: kozhamuratova.u@mail.ru, zhanereke@mail.ru

This paper examines the physicochemical principles and principles of textile cord recycling to produce adsorbents. The accumulation of used automobile tires and their use as secondary products, coupled with the lack of suitable recycling processes and technologies, has prompted the search for effective ways to recycle worn tires and use them as a promising raw material to produce carbon-containing materials. Textile cord, a byproduct of organic rubber waste recycling, was selected as a substandard raw material to produce carbon-containing materials. The structure formation processes of composites modified with textile wire have been described inconsistently in terms of the mechanism of formation, volume, type, size, and differential porosity. Therefore, this paper presents a comprehensive study of the influence of additives on the properties and structure of composites with the goal of producing porous carbon adsorbents for water and gas purification from textile cord from waste automobile tires.

Keywords: automobile tire waste, activation, organic waste, porous adsorbents, nanomaterials, carbonization.

ТОҚЫМА СЫМЫ НЕГІЗІНДЕ АЛЫНҒАН АДСОРБЕНТТЕРДІҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

[1]М.Қ. Қазанқапова, [1]Б.Т. Ермағамбет, [1,2]Ұ.М. Қожамұратова, [2]Ж.Е. Джакупова

[1]«Көмір химиясы және технология институты» ЖШС, Астана, Қазақстан,
[2]«Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» Астана, Қазақстан,
e-mail: kozhamuratova.u@mail.ru, zhanereke@mail.ru

Жұмыста адсорбенттер алу үшін тоқыма сымдарын қайта өңдеудің физика-химиялық принциптері мен принциптері қарастырылады. Пайдаланылған автомобиль шиналарының жинақталуы және оларды қайталама өнім ретінде пайдалану, сәйкес қайта өңдеу процестері мен технологияларының жоқтығы тозған шиналарды қайта өңдеудің тиімді жолдарын іздеуге және оларды көміртегі бар материалдарды өндіру үшін перспективалық шикізат ретінде пайдалануға түрткі болды. Құрамында көміртегі бар материалдарды өндіру үшін сапасыз шикізат ретінде органикалық резеңке қалдықтарын қайта өңдеудің жанама өнімі болып табылатын тоқыма шнуры таңдалды. Тоқыма сымымен модификацияланған композиттердің құрылымды қалыптастыру процестері түзілу механизмі, көлемі, түрі, өлшемі және дифференциалды кеуектілігі тұрғысынан сәйкес келмейтін сипатталған. Сондықтан бұл жұмыста автомобиль шиналарының қалдықтарынан тоқыма шнурларынан су мен газды тазарту үшін кеуекті көміртекті адсорбенттерді алу мақсатымен композиттердің қасиеттері мен құрылымына қоспалардың әсерін кешенді зерттеу ұсынылады.

Түйін сөздер: автомобиль шиналарының қалдықтары, активация, органикалық қалдықтар, кеуекті адсорбенттер, наноматериалдар, карбонизация.

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АДСОРБЕНТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ ТЕКСТИЛЬНОГО КОРДА

[1]М.К. Казанкапова, [1]Б.Т. Ермагамбет, [1,2]У.М. Кожамуратова, [2]Ж.Е. Джакупова

[1]ТОО «Институт химии угля и технологии», Астана, Казахстан,
[2]«Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева» Астана, Казахстан,
e-mail: kozhamuratova.u@mail.ru, zhanereke@mail.ru

В работе рассмотрены физико-химические основы и закономерности способа переработки текстильного корда с целью получения адсорбентов. Проблема накопления использованных автомобильных шин и применение их в качестве вторичной продукции, отсутствие подходящих процессов и технологий переработки явилось основой поиска эффективных способов переработки изношенных шин, применение их в качестве перспективного сырья для производства углеродсодержащих материалов. В качестве некондиционного сырья для производства углеродсодержащих материалов выбран продукт переработки органических отходов резины – текстильный корд. Процессы формирования структуры композитов, модифицированных текстильной проволокой неоднозначно описаны по механизму возникновения новообразований, объему, типу, размерам и дифференциальной пористости. В связи с этим, в работе проведены комплексные исследования влияния добавок на свойства и структуру композитов с целью получения пористых углеродных адсорбентов для очистки воды и газов из текстильного корда отходов автомобильных покрышек.

Ключевые слова: отходы автомобильных шин, активация, текстильный корд, пористые адсорбенты, наноматериалы, карбонизация.

Introduction. Today, one of the fastest-growing industries globally is tire manufacturing. The global tire market reached 2,268 million units in 2021 and is projected to reach 2,665 million units by 2027. According to the European Tire and Rubber Manufacturers Association, the number of end-of-life tires amounted to 3.56 million tons in 2019, which is approximately 1% less than the previous year [1-3]. Overall, 65% of rubber products are used in automotive applications, and the recycling and reuse of partially worn tires in the domestic market remain at a very low level [4,5].

Porous carbon-based materials are obtained through thermal treatment or activation using various oxidizing agents. These materials act as sorbents, enabling the efficient separation of gas and liquid mixtures, while their sorption properties enhance separation capabilities. Such carbon materials are widely used as sorbents, catalyst carriers, nanocomposite materials, and substrates in next-generation energy storage devices such as lithium-ion batteries, supercapacitors, ionistors, and fuel cells [6-9].

Currently, the development of carbon adsorbents derived from automotive tire waste is rapidly advancing. This direction helps address waste recycling challenges while producing efficient materials.

For example, in studies on Turkic peoples, textile cord was processed using the pyrolysis method, followed by chemical activation with potassium hydroxide (KOH). It was found that these materials effectively remove organic pollutants, particularly methylene blue, from aqueous solutions. The best results were observed at a pH of 6.5, highlighting the importance of controlling acidity in adsorption processes [10]. Additionally, other researchers have investigated the role of pyrolysis temperature and duration. It was shown that increasing the temperature improves pore structure and increases the specific surface area, which is a crucial factor for gas storage or water purification applications [11].

Our activation method for textile cord stands out from other approaches, as it provides a high carbon content (86.53%) along with enrichment in mineral elements (Si, Ca, Fe, V, P) that create additional active sites. Moreover, the liquid product is rich in aromatic compounds (toluene, ethylbenzene, etc.), giving it added value. Unlike many studies focused only on surface area, our approach combines high activation efficiency with the practical significance of both solid and liquid products.

Materials and methods. The following equipment was used to carry out this research: a laboratory quartz reactor, a BR-12NRT rotary tube furnace, a ”Thermostep Eltra”

thermogravimetric analyzer, a Kristallux-4000M gas chromatograph, an ES-20/60 shaker-incubator, a PD-303 spectrophotometer, a 150-MI pH meter, a C-2204 centrifuge, a ”GRAD” ultrasonic bath, and a Quanta 3D 200i EDAX scanning electron microscope.

To obtain carbon adsorbents, the activation process was carried out in a laboratory setting at a temperature of 800°C in an inert atmosphere (nitrogen gas). The physicochemical properties were analyzed using a thermogravimetric analyzer, while the adsorption properties were determined in the presence of methyl orange. The technological process was conducted in two stages: carbonization (at 700°C) to remove highly volatile components and achieve a uniformly distributed large-pore structure, followed by activation (at 900°C) to develop a microporous structure. The experiments were performed in a laboratory-scale steam-gas activation unit.

The methods for determining the properties included moisture content, ash content, volatility, pH value of the aqueous extract, bulk density, adsorption activity with methyl orange, pore volume in water, elemental composition, and specific surface area (BET method).

Textile cord consists of several primary materials, each influencing its mechanical properties and strength. The main component is polyester, accounting for 50–70% of the composition, providing tensile strength. Polyamide (nylon) constitutes 10–20%, enhancing mechanical properties and wear resistance. Steel wires make up 10–15%, adding extra hardness and durability.

Results and discussion. The technological process was carried out in two stages: carbonization (to remove volatile components and produce a large-porous structure uniformly distributed throughout the volume) and activation (to produce a microporous structure). Experiments were conducted on a laboratory steam-gas activation unit (Fig.1).

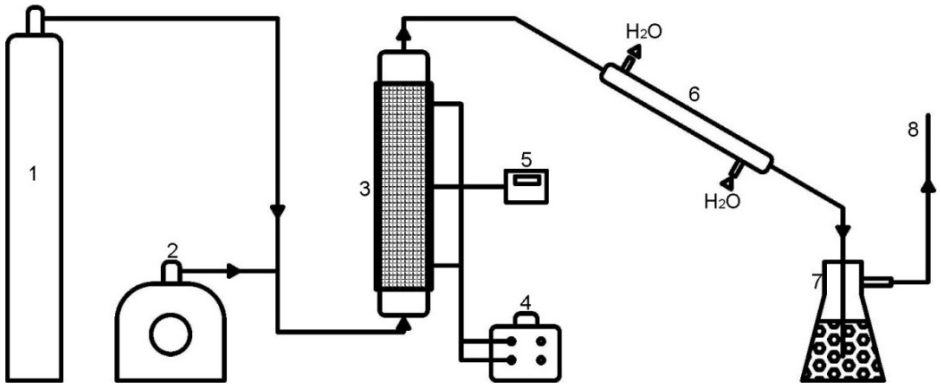


Fig.1 - Schematic diagram of a laboratory setup for steam-gas activation:
1 - gas cylinder (nitrogen), 2 - steam generator, 3 – reactor, 4 – LATR, 5 - temperature sensor, 6 - direct condenser, 7 - flask for cleaning gas from resins, 8 - gas outlet

Carbonization was carried out in an inert argon atmosphere at temperatures ranging from 400 to 900°C for 60 minutes. Argon was supplied from a cylinder (1) to the reactor at a set flow rate of 20 ml/min, which was adjusted using a flow meter. After leaving the reactor, the gas was directed to a condenser (6), from which a portion of the condensed gas flowed into a flask (7) to remove resinous substances. Unreacted gases were discharged to the ventilation system (8).

The next step in adsorbent preparation was activation with water vapor (flow rate of 10 ml/min) at the maximum temperature for 60 minutes to improve its adsorption properties. Table 1 shows the temperature dependences of the components of the gas obtained as a result of carbonization and activation of nylon cord. The formation of combustible gas components (CO, H_2, CH_4) occurs

according to the following main chemical reactions:

$$2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2 - 115700 \text{ kcal} \quad (1)$$

$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2 - 28150 \text{ kcal} \quad (2)$$

$$C + CO_2 \rightarrow 2CO - 38400 \text{ kcal} \quad (3)$$

$$C + 2H_2 \rightarrow CH_4 + 18600 \text{ kcal} \quad (4)$$

When heated above 200 , textile cord begins to decompose, forming a flammable gas containing hydrogen, carbon monoxide, alkanes and alkenes.

Table 1 - Gas composition of carbonization and activation of textile cord

Process	T1 C°	Gas composition (volume, %)								
		O_2	H_2	CO_2	N_2	CH_4	CO	C_2H_6	C_2H_4	C_3H_8+ C_3H_6
Carbonization	200	37.003	0.046	0.126	32.911	0.166	0.040	0.005	-	0.589
	300	37.874	0.259	1.139	68.089	0.083	-	0.009	0.335	0.020
	400	43.355	0.237	2.219	66.944	0.045	-	0.036	0.680	0.054
	500	34.788	3.380	1.874	58.749	1.082	-	1.095	0.705	1.012
	600	34.526	3.091	1.671	61.023	2.570	-	0.918	0.565	1.012
Activation	700	30.469	3.873	0.411	76.123	0.746	-	0.137	0.036	0.162
	800	28.204	5.608	0.302	75.943	0.813	0.436	0.066	0.080	0.082
	900	27.532	3.304	0.157	79.477	0.841	0.511	0.038	0.058	0.006

Table 2 - Material Balance of Textile Cord after activation

	Name	Massa, g	Amount, %
Initial Material	Textile cord	200.00	66.67
	Water	100.00	33.33
	Total	300.00	100.00
Product	Solid Residue (adsorbent)	68.40	22.80
	Gas	201.66	67.22
	Liquid product (water+tar)	29.94	9.98
	Total	300.00	100.00

The analysis of gaseous products shows that during carbonization an increase in temperature leads to higher hydrogen release (up to 3.091% at 600 °C) and formation of light hydrocarbons (CH_4, C_2–C_3), while oxygen decreases. At the same time, nitrogen remains the dominant component of the mixture. During activation (700-900 °C), the gas phase is characterized by high nitrogen content (over 75%) along with noticeable hydrogen formation (up to 5.608% at 800 °C) and small amounts of CO and hydrocarbons. These results indicate that thermal treatment

intensifies decomposition processes and promotes gas evolution, enriching the system with hydrogen and light hydrocarbons.

As a model system, automotive tire waste was crushed and sieved to separate the rubber granules and textile cord. The obtained textile cord underwent carbonization and activation by being processed in a pyrolysis furnace at 900°C for 4 hours. The material balance was then calculated (Table 2).

The developed system boasts a simple and reliable design, as well as an environmentally friendly technology. The gas phase and solid residue are used as adsorbents for water and gas purification, and various commercial products can be obtained from the liquid fraction, which is a mixture of hydrocarbons. No wastewater is generated during operation.

During the carbonization and activation of the textile cord, the vapor-gas mixture was diverted to a refrigerator, where the hydrocarbon vapors condensed, forming a resin. The liquid products obtained in this process at temperatures ranging from 400 to 900°C were distilled on a rotary evaporator (at temperatures of T = 55-61°C under vacuum), with the hydrocarbon fractions collected. Figure 2 shows the chromatograms of the liquid products obtained from the carbonization and activation of the textile cord.

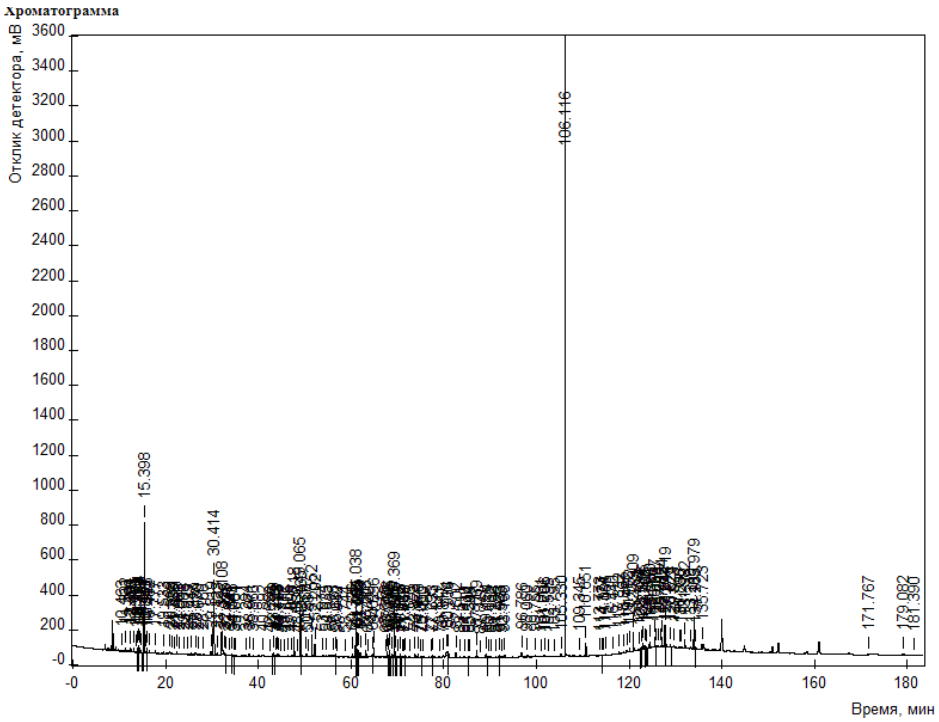


Fig.2 - Chromatogram of liquid products from carbonization and activation of nylon cord

According to the analysis results, the component composition of the liquid hydrocarbon fractions formed during the carbonization and activation of the textile cord is predominantly toluene with a retention time of 30.414 min and a concentration of 10.525%, indicating its dominant content in the mixture. The second most abundant component is 2-methyl-3-ethylpentane (3.329%, retention time 32.108 min). Aromatic hydrocarbons were detected in smaller quantities: ethylbenzene (2.093%, 47.718 min) and 1-methyl-3-n-butylbenzene (1.018%, 80.714 min), as well as other compounds in trace amounts. The obtained results indicate the predominance of aromatic compounds, among which toluene is the main representative, which can have a significant impact on the physicochemical properties of the studied sample.

The elemental composition of the initial product and the adsorbent based on textile cord were studied using a portable X-ray fluorescence analyzer (Table 3).

Table 3 - Elemental composition obtained using a portable X-ray fluorescence instrument

Elemental composition	Initial textile cord		Activated textile cord	
	%	±2σ	%	±2σ
C	77.89	0.57	86.53	0.36
Zn	4.74	0.14	-	-
S	5.30	0.15	6.01	0.15
Si	0.636	0.040	1.95	0.07
Cl	0.260	0.010	0.311	0.010
K	0.310	0.20	0.476	0.020
Ca	0.721	0.031	1.74	0.06
Fe	0.603	0.028	3.06	0.08
Ti	0.153	0.067	0.183	0.064
V	-	-	0.054	0.033
P	-	-	0.055	0.031

The elemental composition analysis of the original and activated textile cord revealed significant changes after activation. The carbon content increased from 77.89% to 86.53%, indicating enrichment of the carbon matrix due to the removal of volatile compounds and inorganic impurities. Sulfur slightly increased (5.30% to 6.01%), while zinc, initially present at 4.74%, completely disappeared, suggesting volatilization during thermal treatment. At the same time, mineral components became more concentrated: silicon rose from 0.636% to 1.95%, calcium from 0.721% to 1.74%, and iron from 0.603% to 3.06%, with minor increases in chlorine, potassium, and titanium. Notably, vanadium (0.054%) and phosphorus (0.055%) appeared only in the activated material, likely due to redistribution of trace elements or impurities introduced during activation. Overall, the activation process not only enriched the carbon structure but also significantly transformed the mineral profile of the textile cord, which may strongly influence its adsorption and catalytic properties.

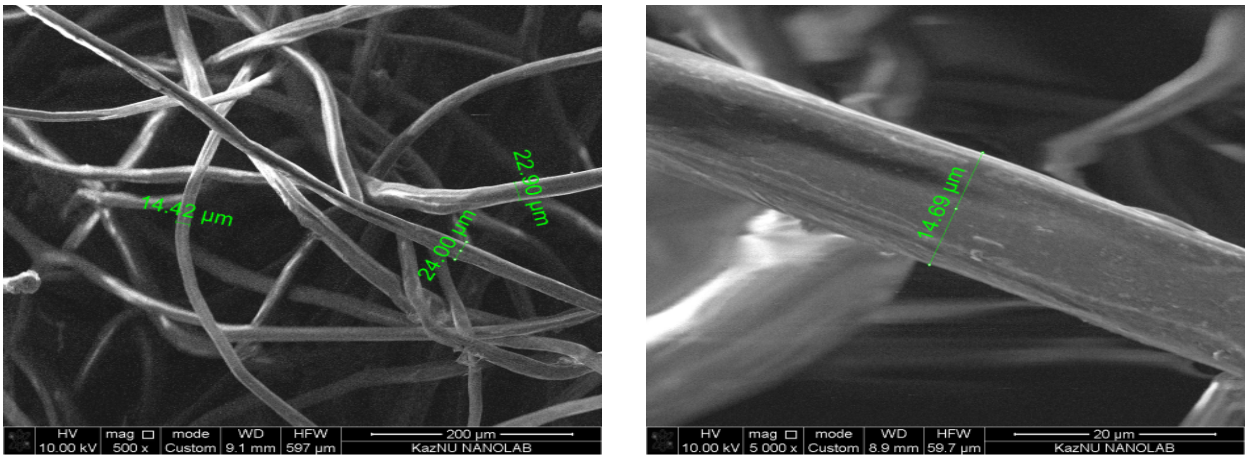
Figures 3 and 4 present microscopic images of the initial textile cord and the activated adsorbent, respectively.

In Figure 3, fiber particles with a diameter of 10–25 μm are clearly visible, with structural elements forming fibrils in the form of thread-like formations.

As shown in Figure 4, the analysis of micrographs reveals that after thermal treatment, the surface structure changes, particle sizes decrease (~145 nm), and fine-dispersed carbon nanoparticles with diameters ranging from approximately 70 to 600 nm are formed. This may be associated with the interaction of reactive radicals resulting from carbonization and activation, leading to the formation of new compounds. The most likely cause of nanoparticle formation on the surface is the synthesis process from the gas phase.

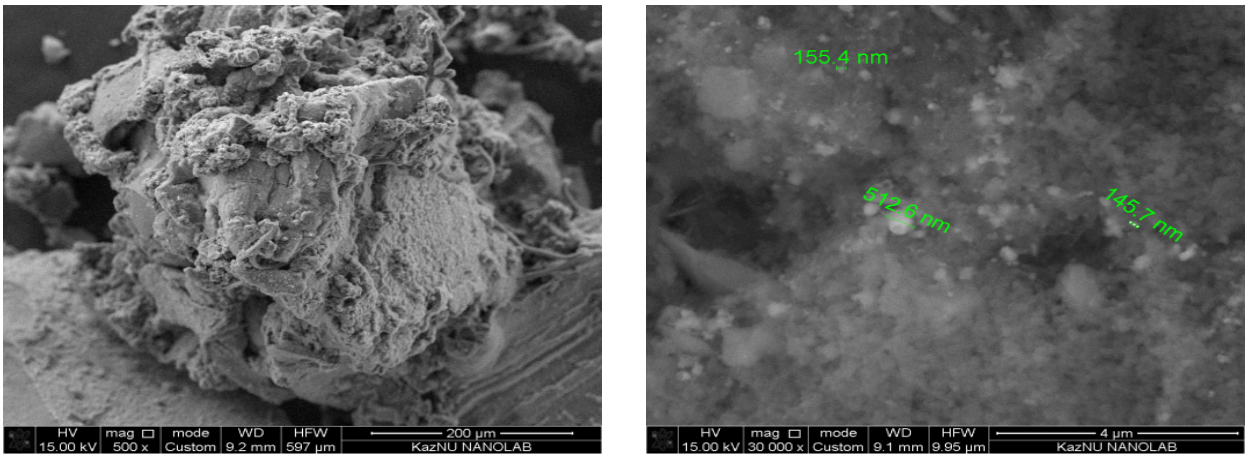
During thermal treatment, the formation and growth of ordered carbon in the textile cord may occur through the self-organization of carbon nanoparticles without the involvement of a

mesophase. However, further studies are needed to clarify this issue.



a **b**

Fig.3 - SEM results of the Initial Textile Cord: a-x500; b-x5000



a **b**

Fig.4 - SEM results of the Activated Textile Cord: a-x500; b-x5000

Thus, the method of processing textile cords through carbonization and activation in the recycling of automobile tires not only ensures the disposal of worn-out tires but also enables the production of materials that can be used in various industries.

Conclusion. Traditional methods for purifying natural objects are not always effective and may harm the environment. While using organic waste for wastewater and air purification is economically and environmentally beneficial, such materials generally lack the required sorption capacity, necessitating carbonization and activation. As a result of this process, new sorbents are obtained, combining the beneficial properties of the original material with the characteristics of synthetic sorbents, and having a surface different from the initial mineral.

Thus, the proposed method for processing textile cords derived from automobile tire recycling through carbonization and activation not only facilitates the disposal of worn-out tires but also enables the production of materials that can be used in various sectors of the economy.

Acknowledgement. *This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP19577512 ”Development of scientific and technical bases for obtaining microporous carbon nanomaterials for hydrogen separation and storage”).*

References

1. Aylón E., Murillo R., Navarro M.V., García T., Mastral A.M. Valorisation of waste tyre by pyrolysis in a moving bed reactor//Waste Management.-2010.-Vol.30.- P.1220 - 1224. DOI 10.1016/j.wasman.2009.10.001.

2. Williams P.T. Pyrolysis of waste tyres: A review//Waste Management. -2013.-Vol.-33. -P.1714-1728. DOI 10.1016/j.wasman.2013.05.003.

3. Choi G., Oh S., Kim J. Clean pyrolysis oil from a continuous two-stage pyrolysis of scrap tires using in-situ and ex-situ desulfurization// Energy.-2017.-Vol.141 (C).- P.2234 - 2241. DOI 10.1016/j.energy.2017.12.015.

4. Murugan S., Ramaswamy M.C., Nagarajan G. A comparative study on the performance, emission and combustion studies of a DI diesel engine using distilled tyre pyrolysis oil–diesel blends //Fuel. -2008. -Vol.87.- P. 2111-2121. DOI 10.1016/j.fuel.2008.01.008.

5. Jahirul M.I., Hossain F.M., Rasul M.G., Chowdhury A.A. A Review on the Thermochemical Recycling of Waste Tyres to Oil for Automobile Engine Application//Energies. -2021. -Vol.14(13): 3837. DOI 10.3390/en14133837.

6. Danon B., van der Gryp P., Schwarz C.E., Görgens J.F. A review of dipentene (DL-limonene) production from waste tire pyrolysis// Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.- 2015.-Vol.112.- P.1-13. DOI 10.1016/j.jaap.2014.12.025.

7. Yazdani E., Hashemabadi S.H., Taghizadeh A. Study of waste tire pyrolysis in a rotary kiln reactor in a wide range of pyrolysis temperature// Waste Management. - 2019.- Vol.85.- P.195-201. DOI 10.1016/j.wasman.2018.12.020.

8. Mudhoo A., Sillanpää M. Magnetic nanoadsorbents for micropollutant removal in real water treatment: A review//Environmental Chemistry letters.-2021.-Vol.19(6). -P.1145-1168. DOI 10.1007/s10311-021-01289-6.

9. Sadegh H., Ghoshekandi R.S., Masjedi A., Mahmoodi Z., Kazemi M. A review on Carbon nanotubes adsorbents for the removal of pollutants from aqueous solutions// International Journal of Nano Dimension. -2016.-Vol.7(2).- P.109-120. DOI 10.7508/ijnd.2016.02.002.

10. Islam M. T. et al. Conversion of waste tire rubber into a high-capacity adsorbent for the removal of methylene blue, methyl orange, and tetracycline from water //Journal of Environmental Chemical Engineering.-2018.-Vol.6(2). - P.3070-3082. DOI 10.1016/j.jece.2018.04.058.

11. Chouaya S., Abbassi M. A., Younes R. B., Zoulalian A. Scrap tires pyrolysis: Product yields, properties and chemical compositions of pyrolytic oil //Russian Journal of Applied Chemistry. - 2018. - Vol.91(10). - P.1603-1611. DOI 10.1134/S1070427218100063.

Сведения об авторах

Казанкапова М.К. - PhD, асс. профессор, чл.-корр. КазНАЕН, ведущий научный сотрудник, ТОО «Институт химии и технологии угля», Астана, Казахстан, e-mail: maira_1986@mail.ru;

Ермагамбет Б.Т.- доктор химических наук, профессор, академик КазНАЕН, ТОО «Институт химии и технологии угля», Астана, Казахстан, e-mail: bake.yer@mail.ru;

Қожамұратова Ұ.М. - магистрант, Евразийский национальний университет им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: kozhamuratova.u@mail.ru;

Джакупова Ж.Е. - кандидат химических наук, доцент, Евразийский национальний университет им. Л.Н. Гумилёва, Астана, Казахстан, e-mail: zhanereke@mail.ru.

Information about the authors

Kazankapova M.K.- PhD, Associate Professor, Corresponding Member of KazNAEN, 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 KazNAEN, LLP ”Institute of Coal Chemistry and Technology”, Astana, Kazakhstan, e-mail: bake.yer@mail.ru;

Kozhamuratova U.M. - master student, Eurasian National University of L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan, e-mail: kozhamuratova.u@mail.ru;

Jakupova Zh.E. - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Eurasian National University of L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan, e-mail: zhanereke@mail.ru.

IRSTI 61.01.91 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1219**

SUBSTANTIATION OF THE OPTIMAL METHOD FOR DETERMINING THE REACTIVITY OF LIME MILK IN MINE WATER TREATMENT

[1]N.V. Seraya, [2]V.V. Litvinov, [1]G.K. Daumova, [3,4]M.A. Yelubay, [1]M.I. Kaissina, [5]E. Skwarek

[1]D.Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,
[2]Proektno-ekologicheskoe bjuro LLP, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,
[3]Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan,
[4]Humboldt-Innovation GmbH, Berlin, Germany,
[5]Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin, Poland

Corresponding author: gulzhan.daumova@mail.ru

This article examines the accuracy of determining the reactivity of lime milk, which is used as the primary reagent for the removal of heavy metal ions from mine water. A comparison of four titrimetric methods was conducted, differing in sample preparation conditions (grinding, boiling), sample mass, and the use of correction coefficients. It was found that the average reactivity of lime milk ranged from 38.2% to 45.7%, with an overall mean value of 42.9% across all experiments. These results are significantly below the regulatory range of 52-70% established for this reagent. The most reproducible results were obtained using the method involving two sample masses and preliminary grinding of the sample. The low reactivity values are attributed to the presence of impurities (Mg, Si, Al, Fe, gypsum, sand), which reduce the effective $Ca(OH)_2$ content. The study concludes that stricter quality control of lime used for lime milk preparation is necessary, as well as an adjustment of the technological regulations for reagent dosing at treatment facilities.

Keywords: lime milk, reactivity, titrimetric analysis, quality control, impurities, calcium hydroxide, mine water treatment, heavy metals, reagent efficiency.

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ИЗВЕСТКОВОГО МОЛОКА ПРИ ОЧИСТКЕ ШАХТНЫХ ВОД

[1]Н.В. Серая, [2]В.В. Литвинов, [1]Г.К. Даумова, [3,4]М.А. Елубай, [1]М.И. Кайсина, [5]E. Skwarek

[1]Восточно-Казахстанский технический университет имени Д.Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан,
[2]ТОО «Проектно-экологическое бюро», Усть-Каменогорск, Казахстан,
[3]Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан,
[4]Humboldt-Innovation GmbH, Берлин, Германия,
[5]Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Люблин, Польша
e-mail: gulzhan.daumova@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы точности определения реакционной способности известкового молока, используемого в качестве основного реагента при очистке шахтных вод от ионов тяжёлых металлов. Проведено сравнение четырёх титриметрических методик, различающихся условиями пробоподготовки (растирание, кипячение), массой навески и применением корректирующих коэффициентов. Показано, что средние значения реакционной способности известкового молока составляют 38,2-45,7 %, а среднее значение по совокупности экспериментов - 42,9 %. Установлено, что полученные результаты существенно ниже нормативного диапазона (52–70 %), регламентированного для данного реагента. Выявлено, что наиболее воспроизводимые результаты даёт методика с использованием двух навесок и предварительным растиранием пробы. Низкие значения активности объясняются наличием примесей (Mg, Si, Al, Fe, гипс, песок), снижающих содержание эффективной $Ca(OH)_2$. Сделан вывод о необходимости ужесточения контроля качества извести, используемой для приготовления известкового молока, а также корректировки технологического регламента дозирования реагента на очистных сооружениях.

Ключевые слова: известковое молоко, реакционная способность, титриметрический анализ, контроль качества, примеси, кальций гидроксид, очистка шахтных вод, тяжелые металлы, эффективность реагентов.

ШАХТА СУЛАРЫН ТАЗАРТУ КЕЗІНДЕ ӘК СҮТІНІҢ РЕАКЦИЯЛЫҚ ҚАБІЛЕТІН АНЫҚТАУДЫҢ ОҢТАЙЛЫ ӘДІСІН НЕГІЗДЕУ

[1]Н.В. Серая, [2]В.В. Литвинов, [1]Г.К. Даумова✉, [3,4]М.А. Елубай, [1]М.И. Кайсина, [5]E. Skwarek

[1]Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан,
[2]"Проектно-экологическое бюро" ЖШС, Өскемен, Қазақстан,
[3]Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан,
[4]Humboldt-Innovation GmbH, Берлин, Германия,
[5]Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Люблин, Польша
e-mail: gulzhan.daumova@mail.ru

Бұл мақалада шахталық суларды ауыр металл иондарынан тазарту үшін негізгі реагент ретінде қолданылатын әк сүтінің реакциялық қабілетін анықтау дәлдігі мәселелері қарастырылады. Үлгіні алдын ала өңдеу (ұнтақтау, қайнату), салмақ массасы және түзету коэффициенттерін қолдану шарттары бойынша ерекшеленетін төрт титриметриялық әдіс салыстырылды. Зерттеу нәтижелері бойынша әк сүтінің орташа реакциялық қабілетінің 38,2-45,7 % аралығында, ал барлық тәжірибелер бойынша орташа мәні - 42,9 % екені анықталды. Бұл көрсеткіштер осы реагентке арналған нормативтік диапазоннан (52-70 %) едәуір төмен. Ең қайталанатын және сенімді нәтижелер екі түрлі салмақ және үлгіні алдын ала ұнтақтау арқылы алынатын әдіс бойынша алынды. Белсенділіктің төмен мәндері қоспалардың (Mg, Si, Al, Fe, гипс, құм) болуымен, яғни тиімді $Ca(OH)_2$ мөлшерінің төмендеуімен түсіндіріледі. Әк сүтін дайындауға пайдаланылатын әктің сапасын бақылауды күшейту, сондай-ақ тазарту құрылыстарындағы реагент мөлшерлеудің технологиялық регламентін түзету қажеттігі туралы қорытынды жасалды.

Түйін сөздер: әк сүті, реакциялық қабілеті, титриметриялық талдау, сапа бақылауы, қоспалар, кальций гидроксиді, шахталық суларды тазарту, ауыр металдар, реагент тиімділігі.

Introduction. The contamination of mine water with heavy metals and acidic compounds is one of the most serious environmental challenges faced by mining regions. According to [1, 2], the discharge of insufficiently treated mine water into surface water bodies leads to elevated concentrations of copper, zinc, manganese, and iron ions, as well as an increase in sulfate load. This contributes to the disruption of ecosystem processes, the accumulation of toxic compounds in bottom sediments, and the degradation of drinking water quality in nearby areas [3].

Estimates from the International Energy Agency indicate that the global annual volume of mine water requiring treatment exceeds 10 billion cubic meters, with a significant portion attributed to coal and non-ferrous metal industries [4]. In countries with a highly developed mining sector - such as China, Australia, the United States, and South Africa- mine water treatment is a mandatory requirement for industrial mine operation [5].

In the literature, various alternative reagents for mine water treatment are widely discussed, including strong oxidizing agents and polymer-based flocculants. For example, the oxidizing reagent "Fernel," based on potassium ferrate (K_2FeO_4, 25.2-40.3 wt.%) and alkali (KOH, 47.2-68.1 wt.%), demonstrates high oxidative capacity and is used for the removal of heavy metals from industrial wastewater [6]. Studies also indicate that ferrate(VI) (FeO_4^{2-}) can effectively oxidize contaminants, resulting in the formation of stable Fe(III) precipitates [7, 8]. However, despite its strong oxidizing reactivity, the use of ferrate is often limited by high costs and challenges associated with large-scale industrial application.

At the same time, the use of alkaline neutralizing reagents remains a fundamental method in

industrial practice. For instance, several authors [9] have demonstrated the efficiency of alkaline neutralization using calcium hydroxide under high concentrations of Fe and Mn in mine waters.

In addition, industrial practice frequently involves the combined use of reagents. In a pilot-scale mine water treatment facility at a non-ferrous metal mining site, lime, a coagulant, and a polymer flocculant were used simultaneously, which enabled the optimized precipitation of heavy metals into the sludge phase [10].

Thus, although reagents such as ferrate or polymeric flocculants demonstrate good treatment performance, among the available purification technologies, alkaline-based neutralization processes remain the most effective and economically feasible [11, 12], which is particularly important for the long-term operation of treatment facilities [13].

Lime milk - a water-based suspension of calcium hydroxide $Ca(OH)_2$ - is commonly used to adjust pH and precipitate heavy metal hydroxides [14,15]. Global practice shows that lime milk continues to be a cost-effective reagent for both large-scale treatment plants and localized systems at industrial facilities [16-18].

The effectiveness of lime milk depends primarily on its reactivity, i.e., the content of chemically available calcium hydroxide [19, 20]. Technological regulations typically specify that lime milk reactivity should fall within the range of 52-70%, although actual values are often lower [21]. This discrepancy is generally attributed to the quality of the initial lime, the presence of impurities (Mg, Si, Al, Fe, gypsum, sand), and the conditions under which the suspension is prepared.

In industrial settings, quality control of lime milk at treatment facilities and production sites is typically performed using standard titrimetric methods [22]. These methods are relatively simple, cost-effective, and suitable for routine use in on-site laboratories. However, the reproducibility of results and the selection of titration parameters-such as sample mass, sample preparation, and temperature - are often critical factors that influence the accuracy of reactivity assessment. In many cases, deviations from the normative reactivity range remain undetected, leading to reagent dosing errors and a subsequent reduction in mine water treatment efficiency.

Inaccurate assessment of lime milk reactivity can cause two types of problems. In the case of under-dosing, water remains contaminated with heavy metals and acids. On the other hand, excessive dosing results in so-called secondary pollution: elevated calcium ion concentrations, increased pH levels, and excessive formation of precipitates (calcium carbonates and sulfates) in the treated water. This complicates the operation of treatment facilities and may have negative impacts on receiving water bodies [23].

Therefore, the accurate determination of lime milk reactivity and the selection of an appropriate analytical method are essential for environmentally safe and economically efficient mine water treatment.

The objective of this study is to compare various titrimetric methods for determining lime milk reactivity, to identify factors influencing the accuracy and reproducibility of results, and to assess the practical implications of reagent reactivity variations for mine water treatment processes.

Materials and methods. The object of this study was actual samples of lime milk used at the mine water treatment facilities of the Belousovsky mine for the precipitation of heavy non-ferrous metal salts. Lime milk is prepared in a mechanical classifier by slaking quicklime with process water to obtain a 5% $Ca(OH)_2$ suspension. Depending on the quality of the initial lime -characterized by the content of active component (52-70%) the daily reagent consumption ranges from 0.34 to 0.46 tons, with a suspension density of approximately 1.03 g/cm^3.

Since the lime milk suspension is in a constant state of solid phase sedimentation, the samples were thoroughly mixed prior to sampling. Analyses were performed using various methods, with the sample mass being no less than 2 g. This is because smaller

sample masses tend to overestimate the amount of free lime and, consequently, the calculated reactivity of the lime milk. The determination of free lime content was carried out by titration. Titration was performed slowly, as rapid addition of the titrant causes the rate of $Ca(OH)_2$ neutralization to exceed its dissolution rate. This leads to partial reaction of the acid with unreacted or overburnt lime particles. As a result, the measured free lime content may be overestimated, and the calculated reactivity of the lime milk may increase by 6-8%.

In this study, 1 N solutions of hydrochloric acid and sodium hydroxide were used, prepared from fixanal standards immediately before analysis. To ensure the reliability of the results and to eliminate random and gross errors, each sample of lime milk of the same quality used in the treatment of mine water at the Belousovsky mine was analyzed using several basic methods [24,25]. This approach is justified by the fact that existing methods for determining free and total lime content are largely subjective, and even when analyzing the same sample, discrepancies in calculated reactivity may reach 3-5% or more.

Method Using Two Sample Masses (with Grinding and Boiling)

To determine the free lime content (A_free), approximately 5 g of well-mixed lime milk was weighed on an analytical balance into a porcelain mortar. A few drops of phenolphthalein were added, and the sample was titrated with a 1 N solution of hydrochloric acid while thoroughly grinding the lime particles with a pestle until complete and stable decolorization was achieved. The titration was carried out slowly. The free lime content (%) as *CaO* relative to the mass of the lime milk was calculated using the following formula:

$$A_{free} = \frac{V_{HCl} \cdot 0,028 \cdot 100}{a} \qquad (1)$$

where: V_{HCl} - volume of 1N hydrochloric acid solution used for titration, in cm³; 0.028 - the titer of 1 N *HCl* solution with respect to *CaO* (g/cm³); a - sample mass of lime milk used for the determination of free lime, in grams.

To determine the total lime content (A_{total}), approximately 5 g of lime milk was placed into a 150 cm³ conical flask. Then, 50 cm³ of 1 N hydrochloric acid solution was added, the flask was covered with a watch glass, and the mixture was boiled for 1-2 minutes. After cooling, the solution was titrated with 1 N sodium hydroxide solution using methyl orange as an indicator, until the color changed from red to yellow. The total lime content (%) as *CaO* relative to the mass of the lime milk was calculated using the following formula:

$$A_{total} = \frac{(50 - V_{NaOH}) \cdot 0,028 \cdot 100}{b} \qquad (2)$$

where: V_{NaOH} - volume of 1 N sodium hydroxide solution used for titration, in cm³; b - sample mass of lime milk used for the determination of total lime, in grams.

The reactivity ($A_{reactivity}$) of the lime milk, expressed as a percentage, was calculated using the formula:

$$A_{reactivity} = \frac{A_{free}}{A_{total}} \cdot 100 \qquad (3)$$

Method Using a Single Sample Mass (with Grinding and Boiling)

To determine the free lime content, approximately 5 g of well-mixed lime milk was weighed on an analytical balance into a porcelain mortar. A few drops of phenolphthalein were added, and the sample was titrated with a 1 N hydrochloric acid solution while thoroughly grinding the lime particles with a pestle until complete and stable decolorization was achieved. The titration was performed slowly. The free lime content (%) as *CaO* relative to the mass of the lime milk was calculated using formula (1). To determine the total lime content, the contents of the mortar were transferred to a 250 cm³ flask. The pestle and mortar were rinsed with distilled water, which was also poured into the flask. Then, 50 cm³ of 1 N hydrochloric acid solution was added, the flask was covered with a watch glass, and the mixture was boiled for 1-2 minutes. After cooling, titration was

carried out with a 1 N sodium hydroxide solution using methyl orange as an indicator until the color changed from red to yellow. The total lime content (%) as *CaO* relative to the mass of the lime milk was calculated by the formula:

$$A_{total} = \frac{[(V_{HCl} + 50) - V_{NaOH}] \cdot 0,028 \cdot 100}{a} \quad (4)$$

where: V_{HCl} - volume of 1 N hydrochloric acid solution used for titration during the free lime determination, in cm³; 50 -volume of 1 N hydrochloric acid solution added for the total lime determination, in cm³; V_{NaOH} - volume of 1 N sodium hydroxide solution used for titration during the total lime determination, in cm³; a - sample mass of lime milk, in grams.

The reactivity ($A_{reactivity}$) of the lime milk, expressed as a percentage, was calculated using the formula:

$$A_{reactivity} = \frac{V_{HCl}}{((V_{HCl} + 50) - V_{NaOH})} \cdot 100 \quad (5)$$

Method Using a Single Sample Mass with Correction Coefficient Determination (with Grinding, without Boiling)

Table 1 - Experimental Results for Determining the Correction Coefficient of 1 N Hydrochloric Acid Solution

Experiment No.	Mass of Anhydrous Sodium Carbonate, g	$V(HCl), cm^3$	K_{HCl}	$K_{cp}(HCl)$
1	1,6000	30,0	1,0063	1,0174
2	1,6500	30,5	1,0207	
3	1,7100	31,5	1,0243	
4	1,6200	30,0	1,0189	
5	1,6324	30,1	1,0233	
6	1,6168	30,4	1,0035	
7	1,7650	32,6	1,0215	
8	1,9529	36,1	1,0207	

Before starting the analysis, correction coefficients for the hydrochloric acid solution (K_{HCl}) and sodium hydroxide solution (K_{NaOH}). were determined. To determine the correction coefficient for the 1 N HCl solution based on anhydrous sodium carbonate, anhydrous sodium carbonate was dried in a drying oven for 1 hour at 250-270°C using a reagent-grade sample. The 1N hydrochloric acid solution was prepared by diluting the corresponding concentrated acid. To prepare 1 dm³ of 1 N HCl solution, 90 cm³ of acid with a density of ρ = 1.174 g/cm³ was carefully poured into water with stirring, and the volume was then brought up to 1 dm³ with water. A weighed portion of anhydrous sodium carbonate was placed into a conical flask, 40 cm³ of water was added, followed by 3-4 drops of methyl orange indicator. The solution was titrated from a burette with 1 N hydrochloric acid solution. Then, the solution was heated and boiled for 2-3 minutes to remove carbon dioxide, and after cooling, the titration was continued until the reappearance of the color change. Three parallel experiments were conducted, and the average volume of hydrochloric acid consumed during titration was determined (Table 1). The correction coefficient (*K*) was calculated using the formula:

$$K_{HCl} = \frac{m_1 \cdot 1000}{M_1 \cdot C_1 \cdot V_{cp}(HCl)} \quad (6)$$

where: m_1 - mass of the sodium carbonate sample; in grams; M_1 - molar mass of the equivalent of the standard substance, 53.00 g/mol; C_1 - nominal molar concentration of the substance in the solution, mol/dm³; $V_{cp}(HCl)$ - average volume of the analyzed hydrochloric acid solution consumed for titration, in cm³.

To determine the correction coefficient of the 1 N sodium hydroxide solution using oxalic acid, 2 g of oxalic acid was weighed and placed into a conical flask, dissolved in 50.0 cm³ of carbon dioxide-free water, and heated to 60-70 °C. The contents of the flask were titrated while hot with sodium hydroxide solution in the presence of 2 drops of phenolphthalein until a persistent pink color appeared that did not fade for 50–60 seconds. The correction coefficient (K) of the sodium hydroxide solution was calculated using the formula (Table 2):

$$K = \frac{m}{V \cdot a} \quad (7)$$

where: V - volume of sodium hydroxide solution consumed in titration, cm³; m - mass of the standard substance, g; a - mass of the standard substance equivalent to 1 ml of sodium hydroxide solution with concentration C(NaOH) = 1 mol/dm³, a = 0.06304 g for oxalic acid.

Table 2 - Experimental Results for Determining the Correction Coefficient of 1 N Sodium Hydroxide Solution

Experiment No.	Mass of Oxalic Acid, g	$V(NaOH), cm^3$	K_{NaOH}	$K_{cp}(NaOH)$
1	2,0005	31,8	0,9979	1,0011
2	2,0003	31,7	1,0010	
3	2,0004	31,7	1,0010	
4	2,0004	31,7	1,0010	
5	2,0005	31,7	1,0011	
6	2,0008	31,7	1,0012	
7	2,0004	31,6	1,0042	
8	2,0009	31,7	1,0013	

For the determination of free lime, approximately 5 g of well-mixed lime milk was weighed on technical scales in a porcelain mortar. A few drops of phenolphthalein were added, and the sample was titrated with 1 N hydrochloric acid solution while carefully grinding the lime particles with a pestle until complete and stable decolorization was achieved. Titration was carried out slowly. The content of free lime (%) *CaO* relative to the mass of lime milk was calculated using the formula:

$$A_{free} = \frac{V_{HCl} \cdot K_{HCl} \cdot 0,028 \cdot 100}{a} \quad (8)$$

where: V_{HCl} is the volume of 1 N hydrochloric acid solution used for titration, cm³; K_{HCl} is the correction coefficient for the 1 N hydrochloric acid solution; 0.028 is the titer of 1 N hydrochloric acid solution in terms of *CaO*; and *a* is the lime milk sample mass taken for free lime determination, g.

For the determination of total lime, the contents of the mortar were transferred to a 250 cm³ flask. The pestle and mortar were rinsed with distilled water, which was also poured into the flask. Then 50 cm³ of 1 N hydrochloric acid solution was added, and the mixture was titrated with 1 N sodium hydroxide solution using methyl orange as an indicator until the red color changed to yellow. The total lime content (%) *CaO* relative to the mass of lime milk was calculated by the formula:

$$A_{total} = \frac{\left[(V_{HCl} + 50) \cdot K_{HCl} - V_{NaOH} \cdot K_{NaOH}\right] \cdot 0,028 \cdot 100}{a} \quad (9)$$

where: V_{HCl}- is the volume of 1 N hydrochloric acid solution used in the free lime titration, cm³; K_{HCl} - is the correction coefficient for hydrochloric acid; 50 cm³ is the volume of 1 N hydrochloric acid added for total lime determination; V_{NaOH} - is the volume of 1 N sodium hydroxide solution used in the total lime titration, cm³; K_{NaOH} - is the correction coefficient for sodium hydroxide; a – and a is the lime milk sample mass, g.

The reactivity ($A_{reactivity}$) of the lime milk (%) was calculated using the formula:

$$Aactivity = \frac{V_{HCl} \cdot K_{HCl}}{\left[(V_{HCl} + 50) \cdot K_{HCl} - V_{NaOH} \cdot K_{NaOH}\right]} \cdot 100 \quad (10)$$

Method with a single sample and determination of correction coefficients (without boiling and without grinding)

Before starting the analysis, correction coefficients for hydrochloric acid and sodium hydroxide solutions were determined. For free lime determination, approximately 5 g of well-mixed lime milk was weighed on technical scales in a porcelain mortar. A few drops of phenolphthalein were added, and the sample was titrated slowly with 1 N hydrochloric acid until complete and stable decolorization was achieved. Free lime content (%) *CaO* relative to the lime milk mass was calculated using formula (8).

For total lime determination, the mortar contents were transferred to a 250 cm³ flask. The pestle and mortar were rinsed with distilled water, which was poured into the flask. Then 50 ml of 1 N hydrochloric acid solution was added, and titration was performed with 1 N sodium hydroxide solution using methyl orange indicator until the color changed from red to yellow. Total lime content (%) *CaO* relative to the lime milk mass was calculated using formula (9). Lime milk reactivity (%) was calculated using formula (10).

Results and discussion. During the study, several methods for determining the reactivity of lime milk were tested. These methods differed in terms of accuracy, labor intensity, and suitability for use under industrial conditions. In real-world practice at treatment facilities, the choice of analytical method is guided by the need to balance data reliability with operational efficiency.

Table 3 - Results of Lime Milk Reactivity Determination

Experiment No.	Indicator – Phenolphthalein			Indicator – Methyl Orange			Lime milk reactivity Act, %
	Lime Milk Mass a, g	V_{HCl}, used for titration, cm³	Free Lime Content A_{free}, %	Lime Milk Mass b, g	V_{NaOH}, used for titration,	Total lime content A_{total}, %	
1	4,98	1,2	0,6747	5,11	47,0	1,6438	41,04
2	4,96	1,3	0,7339	5,08	47,2	1,5433	47,55
3	5,05	1,3	0,7208	5,10	47,3	1,4824	48,62
AVERAGE							45,74± 4,10%

To assess the reactivity of lime milk, a series of experiments was conducted using the double-sample method and various indicators (phenolphthalein and methyl orange). This approach allowed for simultaneous determination of both free and total lime content, thus making the results more reliable. In each experiment, the amounts of free and total lime were determined, on the basis of which the active portion of the reagent was calculated. The experimental results are presented in Table 3.

As shown in Table 1, the reactivity of lime milk in the analyzed samples ranged from 41.04% to 48.62%, with an average value of 45.74%. Statistical analysis revealed that the range of values was 7.58%, the standard deviation was 4.10%, and the coefficient of variation amounted to 8.97%. This variability indicates the influence of suspension heterogeneity and the specifics of the titration process.

Overall, the method demonstrated sufficiently high accuracy and reproducibility. However, the analysis requires more time and reagents, making it less convenient for repeated determinations under real-world conditions at operating treatment facilities.

To optimize the quality control procedure, a single-sample method was tested, which allows the analysis time to be reduced by nearly half. The experimental results obtained using this method are presented in Table 4.

Table 4 - Experimental Results of Lime Milk Reactivity Determination

Experiment No.	Indicator – Phenolphthalein			Indicator – Methyl Orange		Lime milk reactivity Act, %
	Lime Milk Mass a, g	V_{HCl}, used for titration, cm³	Free Lime Content A_{free}, %	V_{NaOH}, used for titration, cm³	Total lime content, A_{total} %	
1	5,10	1,2	0,6588	49,0	1,2078	54,55
2	5,08	1,2	0,6614	48,8	1,3228	50,00
3	5,14	1,3	0,7082	47,2	2,2335	31,71
AVERAGE						45,42±11,85%

Table 5 - Experimental Results for Determining the Reactivity of Lime Milk

Experiment No.	K_{cp} (HCl)	K_{cp} $(NaOH)$	Indicator – Phenolphthalein			Indicator – Methyl Orange		Lime milk reactivity Act, %
			Lime Milk Mass a, g	V_{HCl}, used for titration, cm³	Free Lime Content A_{free}, %	V_{NaOH}, used for titration, cm³	Total lime content, A_{total} %	
1	1,0174	1,0011	5,140	1,2	0,6651	49,2	1,5722	42,31
2			5,026	2,1	1,1898	48,6	2,4064	49,44
3			5,072	1,1	0,6177	48,8	1,7122	36,08
4			5,100	1,1	0,6143	49,4	1,3728	44,75
5			5,042	1,1	0,6214	49,0	1,6111	38,57
AVERAGE								42,23±5,02%

The reactivity of the lime milk in the analyzed samples varied from 31.71% to 54.55%. The average reactivity value was 45.42%. Statistical analysis revealed a range of values of 22.84%, a standard deviation (σ) of 11.85%, and a coefficient of variation (V) of 26.1%. Thus, the single-sample method demonstrated a significant scatter of results, exceeding acceptable limits for analytical measurements.

To improve the accuracy of lime milk reactivity determination, a single-sample method with the application of correction coefficients was used, with samples analyzed without boiling. The use of correction coefficients helps to account for possible deviations in titrant volumes and thereby increases the reliability of the obtained results. The experimental data are presented in Table 5.

The reactivity of lime milk determined by this method ranged from 36.08% to 49.44%. The average value was 42.23%, which is significantly lower than the expected regulatory standards. Statistical analysis revealed considerable data variability: the standard deviation was 5.02%, and the coefficient of variation reached 11.9%, indicating low reproducibility of the method.

For further analysis, a method with a single sample weight was applied, using correction coefficients, but the samples were analyzed without boiling and without grinding the lime milk. The absence of grinding may additionally affect the completeness of calcium hydroxide dissolution, which impacts the accuracy of the results (Table 6).

Table 6 - Experimental Results for Determining the Reactivity of Lime Milk

Experiment No.	K_{cp} (HCl)	K_{cp} $(NaOH)$	Indicator – Phenolphthalein			Indicator – Methyl Orange		Lime milk reactivity Act, %
			Lime Milk Mass a, g	V_{HCl}, used for titration, cm³	Free Lime Content A_{free}, %	V_{NaOH}, used for titration, cm³	Total lime content, A_{total} %	
1	1,0174	1,0011	5,120	1,3	0,7234	49,5	1,4699	49,21
2			5,030	2,2	1,2457	46,7	3,5207	35,38
3			5,032	2,0	1,1320	47,9	2,7371	41,36
4			5,068	2,0	1,1240	47,1	3,1605	35,56
5			5,052	0,9	0,5074	49,2	1,3841	36,66
6			5,028	1,0	0,5665	49,0	1,5589	36,34
7			4,97	1,1	0,6304	48,5	1,9167	32,89
AVERAGE								38,20±5,02%

The reactivity of lime milk by this method ranged from 32.89% to 49.21%. The average value was 38.20%, which is significantly below the expected regulatory standards. The range of values was 16.32%, the standard deviation was 5.62%, and the coefficient of variation was 14.7%.

To assess the accuracy and reproducibility, the results obtained by all four titration methods were compared. Table 7 presents the average values of lime milk reactivity, as well as the main statistical indicators.

The two-sample method allows for the separate determination of free and total lime content, providing a more comprehensive understanding of the composition of lime milk. In the conducted experiments (Table 7), the reagent reactivity ranged from 41.04% to 48.62%, with an average value of 45.74 ± 4.10%. Using two samples yields more reliable results compared to methods utilizing a single sample, as it accounts for both the dissolved

and the precipitated parts of calcium hydroxide. However, the method remains quite sensitive to the conditions of the analysis: the results are influenced by the sample mass and the titration rate. Thus, the two-sample method provides the highest accuracy and is used as the primary control technique for adjusting reagent consumption in accordance with the technological regulations.

Table 7 - Comparative Results of Different Titration Methods

Method	Range of A_act, %	Average value, %	σ (Standard deviation), %	V (Coefficient of variation), %
Two samples	41,04 – 48,62	45,74	4,10	8,97
One sample	31,71 – 54,55	45,42	11,85	26,1
One sample with correction factor (without boiling)	36,08 – 49,44	42,23	5,02	11,9
One sample with correction factor (without boiling and grinding)	32,89 – 49,21	38,20	5,62	14,7

The single-sample method is a simplified version of the analysis used for operational production control. It allows for halving the analysis time, which is especially important when multiple determinations are required during a shift. However, the obtained results showed extremely high variability - the coefficient of variation was 26.1%, indicating low reproducibility of the method. The large scatter is explained by several factors: heterogeneity of the lime milk suspension, errors in weighing the sample, as well as differences in the dissolution and neutralization rates of calcium hydroxide during titration. Thus, the single-sample method is convenient and sufficiently reliable for rapid assessment of lime milk reactivity, but it does not provide the necessary accuracy and reliability for regular analytical control.

The application of the single-sample method with the use of a correction factor represents a modification of the accelerated method, which takes into account adjustments for systematic titration errors. This simplifies the analysis procedure while simultaneously improving the accuracy of titrant volume measurement. However, the obtained results showed a significant variability in reactivity values (ranging from 36.08% to 49.44%). The average value was 42.23%, which is noticeably below the standard level. A coefficient of variation of 11.9% indicates relatively low reproducibility of the method. Despite the use of correction factors, the influence of factors such as suspension heterogeneity, titration speed, and differences in lime component solubility remains. Thus, the single-sample method without boiling, even with the use of a correction factor, provides only an approximate estimation of lime milk reactivity and cannot be considered a sufficiently reliable control method for the operation of treatment facilities.

The application of the single-sample method without boiling and without grinding revealed an even wider range of lime milk reactivity values compared to previous approaches. The average value was low (38.20%), and the variability between individual measurements was significant. Statistical indicators confirm the low reproducibility of the method: the coefficient of variation was 14.7%, which substantially exceeds the acceptable limits for analytical determinations. A key factor affecting the results is the absence of grinding the sample, which limits the completeness of calcium hydroxide dissolution and leads to an underestimation of reactivity. Although some high values were recorded (up to 49.21%), they did not compensate for the overall downward trend in

average values. Thus, despite its simplicity, this method proved to be the least reliable among the investigated techniques and can only be used as a rough express analysis rather than for regular production control.

A comparative analysis of the obtained data showed that the highest reproducibility was achieved by the two-sample method: the coefficient of variation was less than 10%, which falls within acceptable limits for analytical measurements. This method also demonstrated the smallest range of values (41.04-48.62%). The single-sample method proved to be the least reliable, with a coefficient of variation reaching 26.1% and a value range exceeding 22%. This indicates a high sensitivity of the method to the analysis conditions, making it unsuitable for precise control. The use of correction factors partially improved reproducibility (standard deviation decreased to 5.02–5.62%), but the omission of boiling and grinding the samples negatively affected the completeness of active component dissolution, leading to an underestimation of average reactivity values (38.20-42.23%).

Conclusions. The analysis of the obtained data (Table 7) showed that the reactivity of 5% lime milk used at the mine water treatment facilities of the Belousovsky mine for the precipitation of heavy metal salts averages 42.9%, which is significantly lower than the values specified in the technological regulations (52-70%). This discrepancy requires continuous monitoring of the actual lime consumption and adjustment of the daily reagent dosage.

The reasons for the reduced reactivity are related both to the composition of the raw material and to the technological conditions of its processing. Unsaturated lime produced by the calcination of calcium-magnesium rocks is used to prepare the lime milk. Besides pure calcium and magnesium oxides, the calcined product contains compounds with silicon, aluminum, and iron, as well as underburnt residues. These impurities reduce the rereactivity of the lime, and its instability in air additionally leads to partial carbonation.

The effectiveness of lime milk depends on the solubility and dissolution rate of calcium hydroxide, which are influenced by temperature, crystal structure, impurity content, and slaking conditions. The actual reactivity was insufficient to ensure the normative pH level of 10.5 at the standard dosage, which may reduce the efficiency of the treatment process.

The conducted research demonstrated that the titration conditions significantly affect the reactivity analysis results. Key factors include the titration rate, the necessity of grinding the sample, the use of boiling for determining total lime content, the quality of prepared titrant solutions, and the presence of foreign components (gypsum, sand, aluminum and iron oxides, magnesium hydroxide).

Comparison of titration methods showed that simplified approaches (single sample, with correction factors) produce substantially higher variability and lower reproducibility. The two-sample method provides the highest accuracy and stability of results, ensuring reliable quality control of lime milk under production conditions.

Thus, the following conclusions can be drawn from the results:

1. The actual reactivity of lime milk is below normative values and requires adjustment of reagent consumption.

2. The decrease in reactivity is related to the quality of the initial lime, its structure, and impurity content.

3. Analysis results depend on the titration methodology.

4. For production control, the two-sample method is recommended as the most accurate and reproducible.

At the same time, in the practice of the Belousovsky mine’s treatment facilities, it is advisable to establish a lime milk reactivity control system based on the following principle: regular laboratory control using the two-sample method; operational control during shifts using the single-sample method or with correction factors; express control at the preparation site using the single-sample method without boiling and grinding. This approach provides a balance between analytical

accuracy and ease of application in production conditions.

Литература

1. Gomes P., Valente T. Seasonal impact of acid mine drainage on water quality and potential ecological risk in an old sulfide exploitation // Environmental Science and Pollution Research. -2024. - Vol.31. -P. 21124–21135. DOI 10.1007/s11356-024-32367-1.

2. Bu C., Li X., Li Q., Li L., Wu P. Spatiotemporal distributions, sources, and health risks of heavy metals in an acid mine drainage (AMD)-contaminated karst river in southwest China// Applied Water Science. -2024. -Vol.14: 251. DOI 10.1007/s13201-024-02317-w.

3. Muter O., Gudrā D., Daumova G., Idrisheva Z., Rakhymberdina M., Tabors G., Dirnēna B., Dobkeviča L., Petrova O., Apshikur B., Lunge M., Fridmanis D., Denissov I., Bekishev Y., Kasparinskis R., Mukulysova Z., Polezhayev S. Impact of Anthropogenic Activities on Microbial Community Structure in Riverbed Sediments of East Kazakhstan // Microorganisms. -2024. -Vol.12(2): 246. DOI 10.3390/microorganisms12020246.

4. de Oliveira Bredariol T. Reducing the impact of extractive industries on groundwater resources// IEA: International Energy Agency. - 2022. URL: https://www.iea.org/commentaries/reducing-the-impact-of-extractive-industries-on-groundwater-resources. - Date of access: 20.07.2025.

5. Shingwenyana R., Shabalala A.N., Mbhele R., Masindi V. Techno-Economic Analysis of the Reclamation of Drinking Water and Valuable Minerals from Acid Mine Drainage//Minerals. -2021. -Vol.11(12): 1352. DOI 10.3390/min11121352.

6. Орехова А.И., Халемский А.М., Шерстобитова Т.М., Коган Б.С., Иванов А.В. Реагент-окислитель марки «ФЕРНЕЛ» для обезвреживания и очистки водных растворов//Известия высших учебных заведений. -2014.- Т.57(3).- С.128-130.

7. Yu J., Sumita E., Zhang K., Zhu Q., Wu C., Huang S., Zhang Y., Yao S., Pang W. A Review of Research Progress in the Preparation and Application of Ferrate(VI) // Water. -2023. -Vol.15 (4): 699. DOI 10.3390/w15040699.

8. Ghernaout D., Naceur M.W. Ferrate(VI): In situ generation and water treatment -A review // Desalination and Water Treatment. -2011. -Vol.30 (1-3). -P.319–332. DOI 10.5004/dwt.2011.2217.

9. Zhao P., Zhang R., Hu M. Alkaline Chemical Neutralization to Treat Acid Mine Drainage with High Concentrations of Iron and Manganese//Water. -2024. -Vol.16 (6): 821. DOI 10.3390/w16060821.

10. Мартыненко Г. Д., Найманов А. Я., Найманова А. А. Очистка шахтных вод рудника цветных металлов на опытно-промышленной установке//Водоснабжение и санитарная техника-2023.-№12.-С.45-50. DOI 10.35776/VST.2023.12.07

11. Huang Zh-Sh., Yang T-Z. Comparative study of acid mine drainage using different neutralisation methods//Water Practice Technology. -2021. -Vol.16(3). -P.1026-1035. DOI 10.2166/wpt.2021.039.

12. Othmana A., Mamata C.R., Ibrahimb I., Mohd Rozi M.S. The Mixture of Limes in Acid Mine Drainage Treatment //Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences. -2023. -Vol.19 (4). -P.668-678. DOI 10.11113/mjfas.v19n4.2759.

13. Skousen J. G., Ziemkiewicz P. F., McDonal L.M. Acid mine drainage formation, control and treatment: Approaches and strategies // The Extractive Industries and Society. -2019. - Vol.6(1). -P.241-249. DOI 10.1016/j.exis.2018.09.008.

14. Рыбникова Л.С., Рыбников П.А., Наволокина В.Ю.Оценка эффективности очистки кислых

шахтных вод (на примере медноколчеданных рудников Среднего Урала)//Записки горного института. - 2024.-Т.267.- С.388-401.

15. Куликова А.А., Сергеева Ю.А., Овчинникова Т.И., Хабарова Е.И. Формирование шахтных вод и анализ способоа очистки. -2020.- Т.7.-С.135-145. DOI 10.25018/0236-1493-2020-7-0-135-145

16. Gruska R.M., Kunicka-Styczyńska A., Molska M. Application of Fourier Transform Near-Infrared Spectroscopy and Chemometrics for Quantitative Analysis of Milk of Lime (MOL) Used in the Sugar Industry//Molecules. -2025. -Vol.30(11): 2308. DOI 10.3390/molecules30112308.

17. Фетисова Н.Ф. Кислотность и щелочность шахтных вод как ключевые показатели для планирования систем очистки//Горное дело. - 2022. -№ 2. -С.32-38. DOI 10.7242/echo.2022.2.5

18. Бондаренко Ю.И., Бородина О.Ю. Разработка схемы доочистки шахтных вод.- 2021.-С.199-203.// Наука. Технологии. Инновации. Сборник научных трудов XB Всероссийской научной конференции молодых ученых, посвященной Году науки и технологий в России. - 2021.-С.199-203.

19. Litvinov V.V., Strunnikova N.A., Daumova G.K., Seraya N.V., Mutere O., Utin S.S. Optimal conditions for lime treatment of mine wastewater from polymetallic ore mines // Bulletin of D Serikbayev EKTU. -2024. -Vol.1. -P.179-189. DOI 10.51885/1561-4212_2024_1_179.

20. Бордунов С.В., Кулага И.Г. применение ввсовольтного импульсного разряда в коммунальном хозяйстве для повышения химической активности известкового молока и обеззараживания сточных вод// Экология и промышленность России-2012.-№ 4(4-8) DOI 10.18412/1816-0395-2012-2-4-8.

21. Marwa A., Sweya L. N. Influence of limestone as pre-treatment for sustainable acid mine drainage water quality management in Tanzania //Journal of Degraded and Mining Lands Management. -2024. -Vol.11(3). -P.6009–6015. DOI 10.15243/jdmlm.2024.113.6 009.

22. Фетисова Н.Ф. Оценка расхода реагентов для нейтрализации кислых шахтных вод на основе моделирования кривых титрования//Горноедело. - 2023. - №2(91).- С.19-25. DOI 10.7242/echo.2023.2.4.

23. Parker S. D., et al. Lime Use in Wastewater Treatment: Design and Cost Data/ United States Environmental Protection Agency (EPA). -1975. URL: https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=9100SNS0.TXT. -Date of access: 10.07.2025.

24. Стартсева Л.В., Бековшинина С.И Руководство по анализу шахтных вод//Типография ПВВКУ. -1980.- 285 с.

25. Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод / Издательство «Химия» -М.-1973. - 376 с.

References

1. Gomes P., Valente T. Seasonal impact of acid mine drainage on water quality and potential ecological risk in an old sulfide exploitation // Environmental Science and Pollution Research. -2024. - Vol.31. -P. 21124–21135. DOI 10.1007/s11356-024-32367-1.

2. Bu C., Li X., Li Q., Li L., Wu P. Spatiotemporal distributions, sources, and health risks of heavy metals in an acid mine drainage (AMD)-contaminated karst river in southwest China// Applied Water Science. -2024. -Vol.14: 251. DOI 10.1007/s13201-024-02317-w.

3. Muter O., Gudrā D., Daumova G., Idrisheva Z., Rakhymberdina M., Tabors G., Dirnēna B., Dobkeviča L., Petrova O., Apshikur B., Lunge M., Fridmanis D., Denissov I., Bekishev Y., Kasparinskis R., Mukulysova Z., Polezhayev S. Impact of Anthropogenic Activities on Microbial Community Structure in Riverbed Sediments of East Kazakhstan // Microorganisms. -2024. -Vol.12(2): 246. DOI 10.3390/microorganisms12020246.

4. de Oliveira Bredariol T. Reducing the impact of extractive industries on groundwater resources// IEA: International Energy Agency. - 2022. URL: https://www.iea.org/commentaries/reducing-the-impact-of-extractive-industries-on-groundwater-resources. - Date of access: 20.07.2025.

5. Shingwenyana R., Shabalala A.N., Mbhele R., Masindi V. Techno-Economic Analysis of the Reclamation of Drinking Water and Valuable Minerals from Acid Mine Drainage//Minerals. -2021. -Vol. 11(12): 1352. DOI 10.3390/min11121352.

6. Orehova A.I., Halemskij A.M., Sherstobitova T.M., Kogan B.S., Ivanov A.V. Reagent-okislitel' marki «FERNEL» dlja obezvrezhivanija i ochistki vodnyh rastvorov//Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. -2014.- T.57(3).- S.128-130.[in Russian]

7. Yu J., Sumita E., Zhang K., Zhu Q., Wu C., Huang S., Zhang Y., Yao S., Pang W. A Review of Research Progress in the Preparation and Application of Ferrate(VI) // Water. -2023. -Vol.15 (4): 699. DOI 10.3390/w15040699.

8. Ghernaout D., Naceur M.W. Ferrate(VI): In situ generation and water treatment -A review // Desalination and Water Treatment. -2011. -Vol.30 (1-3). -P.319–332. DOI 10.5004/dwt.2011.2217.

9. Zhao P., Zhang R., Hu M. Alkaline Chemical Neutralization to Treat Acid Mine Drainage with High Concentrations of Iron and Manganese//Water. -2024. -Vol.16 (6): 821. DOI 10.3390/w16060821.

10. Martynenko G. D., Najmanov A. Ja., Najmanova A. A. Ochistka shahtnyh vod rudnika cvetnyh metallov na opytno-promyshlennoj ustanovke//Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika-2023.-№12.- S.45-50. DOI 10.35776/VST.2023.12.07. [in Russian]

11. Huang Zh-Sh., Yang T-Z. Comparative study of acid mine drainage using different neutralisation methods//Water Practice Technology. -2021. -Vol.16(3). -P.1026-1035. DOI 10.2166/wpt.2021.039.

12. Othmana A., Mamata C.R., Ibrahimb I., Mohd Rozi M.S. The Mixture of Limes in Acid Mine Drainage Treatment //Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences. -2023. -Vol.19 (4). -P.668-678. DOI 10.11113/mjfas.v19n4.2759.

13. Skousen J. G., Ziemkiewicz P. F., McDonal L.M. Acid mine drainage formation, control and treatment: Approaches and strategies // The Extractive Industries and Society. -2019. - Vol.6(1). -P.241-249. DOI 10.1016/j.exis.2018.09.008.

14. Rybnikova L.S., Rybnikov P.A., Navolokina V.Ju. Ocenka jeffektivnosti ochistki kislyh shahtnyh vod (na primere mednokolchedannyh rudnikov Srednego Urala)//Zapiski gornogo instituta. - 2024.-T.267.-S.388-401. [in Russian]

15. Kulikova A.A., Sergeeva Ju.A., Ovchinnikova T.I., Habarova E.I. Formirovanie shahtnyh vod i analiz sposoboa ochistki. -2020.- T.7.-S.135-145. DOI 10.25018/0236-1493-2020-7-0-135-145. [in Russian]

16. Gruska R.M., Kunicka-Styczyńska A., Molska M. Application of Fourier Transform Near-Infrared Spectroscopy and Chemometrics for Quantitative Analysis of Milk of Lime (MOL) Used in the Sugar Industry//Molecules. -2025. -Vol.30(11): 2308. DOI 10.3390/molecules30112308.

17. Fetisova N.F. Kislotnost' i shhelochnost' shahtnyh vod kak kljuchevye pokazateli dlja planirovanija sistem ochistki//Gornoe delo -2022.-№ 2.-S.32-38. DOI 10.7242/echo.2022.2.5. [in Russian]

18. Bondarenko Ju.I., Borodina O.Ju. Razrabotka shemy doochistki shahtnyh vod. -2021.-S.199-203.// Nauka. Tehnologii. Innovacii. Sbornik nauchnyh trudov HV Vserossijskoj nauchnoj konferencii molodyh uchenyh, posvjashhennoj Godu nauki i tehnologij v Rossii. - 2021.-S.199-203. [in Russian]

19. Litvinov V.V., Strunnikova N.A., Daumova G.K., Seraya N.V., Mutere O., Utin S.S. Optimal conditions for lime treatment of mine wastewater from polymetallic ore mines // Bulletin of D Serikbayev EKTU. -2024. -Vol.1. -P.179-189. DOI 10.51885/1561-4212_2024_1_179.

20. Bordunov S.V., Kulaga I.G. primenenie vvsovol’ tnogo impul’ snogo razrjada v kommunal’ nom hozjajstve dlja povyshenija himicheskoj aktivnosti izvestkovogo moloka i obezzarazhivanija stochnyh vod// Jekologija i promyshlennost’ Rossii -2012. - № 4(4-8) DOI 10.18412/1816-0395-2012-2-4-8. [in Russian]

21. Marwa A., Sweya L. N. Influence of limestone as pre-treatment for sustainable acid mine drainage water quality management in Tanzania //Journal of Degraded and Mining Lands Management. -2024. -Vol.11(3). -P.6009–6015. DOI 10.15243/jdmlm.2024.113.6 009.

22. Fetisova N.F. Ocenka rashoda reagentov dlja nejtralizacii kislyh shahtnyh vod na osnove modelirovanija krivyh titrovanija//Gornoe delo. -2023. -№2(91).-S.19-25. DOI 10.7242/echo.2023.2.4. [in Russian]

23. Parker S. D., et al. Lime Use in Wastewater Treatment: Design and Cost Data/ United States Environmental Protection Agency (EPA). -1975. URL: https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=9100SNS0.TXT. -Date of access: 10.07.2025.

24. Startseva L.V., Bekovshinina S.I Rukovodstvo po analizu shahtnyh vod. //Tipografija PVVKU.-1980.-285 s. [in Russian]

25. Lur’ e Ju.Ju. Unificirovannye metody analiza vod. / Izdatel’ stvo «Himija» -M.-1973.- 376 s. [in Russian]

Information about the authors

Seraya N.V. - Candidate of Chemical Sciences, Professor, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; e-mail: nseraya@mail.ru;

Litvinov V.V. - Proektno-ekologicheskoe bjuro LLP, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: litvinov_vadim@mail.ru;

Daumova G.K. - Candidate of Technical Sciences, Professor, D.Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: gulzhan.daumova@mail.ru;

Yelubay M.A. - Candidate of Chemical Sciences, Professor, Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan, Humboldt-Innovation GmbH, Berlin, Germany, e-mail: m.yelubay@gmail.com;

Kaissina M.I. - Master of Technical Sciences, Doctoral student, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: makpal_eco@mail.ru;

Skwarek E. - PhD, Professor, Maria Curie-Sklodowska University, Lublin, Poland; e-mail:ewa.skwarek@mail.umcs.pl.

Сведения об авторах

Серая Н.В. - кандидат химических наук, профессор, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д.Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: nseraya@mail.ru;

Литвинов В.В. - ТОО «Проектно-экологическое бюро», Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: litvinov_vadim@mail.ru;

Даумова Г.К. - кандидат технических наук, профессор, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д.Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: gulzhan.daumova@mail.ru;

Елубай М.А. - кандидат химических наук, профессор, Торайгыров Университет, Павлодар, Казахстан, Humboldt-Innovation GmbH, Берлин, Германия, e-mail: m.yelubay@gmail.com;

Кайсина М.И. - магистр технических наук, докторант, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д.Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: makpal_eco@mail.ru;

Skwarek E. - PhD, профессор, Университет Марии Кюри-Склодовской, Люблин, Польша, e-mail:ewa.skwarek@mail.umcs.pl.

МРНТИ 61.51.37 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1298**

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОКИСЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЯНЫХ ОСТАТКОВ КАРАЖАНБАССКОЙ НЕФТИ

[1]С.К. Буканова, [1,2]Г.К. Шамбилов, [1]А.И. Абилхайров, [1]А.С. Буканова, [1]Ф.Б. Кайрлиева, [3]Н.У. Нургалиев

[1]НАО «Атырауский университет нефти и газа имени Сафи Утебаева», Атырау, Казахстан,
[2]НАО «Атырауский университет имени Х. Досмухамедова», Атырау, Казахстан,
[3]Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан

Корреспондент-автор: sauleshik81@mail.ru, nurgaliev_nao@mail.ru

Современные тенденции развития нефтеперерабатывающей и дорожно-строительной отраслей Казахстана требуют внедрения энергоэффективных и экологически рациональных технологий получения битумов. В условиях растущего спроса на качественные вяжущие материалы особую актуальность приобретают каталитические процессы окисления, позволяющие интенсифицировать реакции при мягких температурных режимах и снизить нагрузку на оборудование.

Настоящая работа направлена на экспериментальное обоснование возможности замены традиционной схемы «переокисление-разбавление» упрощённой технологией прямого каталитического окисления тяжёлых нефтяных остатков Каражанбасской нефти с использованием перманганата калия ($KMnO_4$) в качестве активного катализатора.

Основной задачей являлось получение дорожных битумов марки БНД 70/100, соответствующих требованиям СТ РК 1373-2013, при одновременном снижении энергозатрат и исключении стадии компаундирования.

В исследовании использованы гудрон и затемнённая вакуумная фракция, полученные из Каражанбасской нефти. Окисление проводилось в лабораторном реакторе периодического действия при температурах 140-260°С с регулируемой подачей воздуха (1 л/кг·мин). В качестве катализатора применялась 0,5 % калиевая соль марганцевой кислоты, обеспечивающая ускорение окислительных процессов и формирование асфальтосмолистой структуры битума. Отобранные пробы анализировались по стандартам СТ РК и ГОСТ: определялись пенетрация, температура размягчения, растяжимость и температура хрупкости.

Установлено, что введение $KMnO_4$ обеспечивает устойчивое протекание реакции окисления при пониженных температурах, что приводит к формированию битума с высокими эксплуатационными свойствами. Полученный продукт характеризуется пенетрацией 111 (0,1 мм, 25 °С), температурой размягчения 45 °С, дуктильностью выше 150 см и температурой хрупкости -19 °С.

Эти показатели полностью соответствуют требованиям к битумам марки БНД 70/100. Проведённые исследования подтвердили эффективность использования перманганата калия как катализатора в процессе окисления тяжёлых нефтяных остатков. Предложенная методика отличается упрощённой технологической схемой, сниженным энергопотреблением и повышенной экологической безопасностью. Реализация данного подхода на промышленных установках Казахстана позволит оптимизировать производство дорожных битумов, повысить ресурсосбережение и обеспечить стабильное качество продукции отечественных нефтеперерабатывающих предприятий.

Ключевые слова: тяжёлые нефтяные остатки, Каражанбасская нефть, дорожные битумы, каталитическое окисление, энергоэффективность, дорожное строительство.

ҚАРАЖАНБАС МҰНАЙЫНЫҢ АУЫР МҰНАЙ ҚАЛДЫҚТАРЫН ТОТЫҚТЫРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖЕТІЛДІРУ

[1]С.К. Буканова✉, [1,2]Г.К. Шамбилова, [1]А.И. Абилхайров, [1]А.С. Буканова, [1]Ф.Б. Кайрлиева, [3]Н.У. Нургалиев✉

[1]«Сафи Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті» КЕАҚ, Атырау, Қазақстан,
[2]«Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті» КЕАҚ, Атырау, Қазақстан,
[3]Қ.Құлажанов атындағы технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail: sauleshik81@mail.ru, nurgaliev_nao@mail.ru

Қазақстанның мұнай өңдеу және жол-құрылыс салаларын дамытудың қазіргі заманғы үрдістері битумдарды алудың энергия тиімді және экологиялық ұтымды технологияларын енгізуді талап етеді. Жоғары сапалы байланыстырғыш материалдарға сұраныстың артуы жағдайында каталитикалық тотығу процестері ерекше өзекті болып табылады, бұл жұмсақ температуралық режимдердегі реакцияларды күшейтуге және жабдыққа жүктемені азайтуға мүмкіндік береді.

Бұл жұмыс Белсенді катализатор ретінде калий перманганатын ($KMnO_4$) пайдалана отырып Қаражанбас мұнайының ауыр мұнай қалдықтарын оңайлатылған тікелей каталитикалық тотығу технологиясымен «артық тотығу-сұйылту» дәстүрлі сызбасын ауыстыру мүмкіндігін эксперименттік негіздеуге бағытталған.

Негізгі міндет энергия шығынын азайтып, араластыру сатысын алып тастағанда ҚР СТ 1373-2013 талаптарына сәйкес келетін 70/100 БНД маркалы жол битумдарын алу.

Зерттеуде Қаражанбас мұнайынан алынған гудрон мен күңгірттенген вакуумдық фракция пайдаланылды. Тотығу зертханалық реакторда 140–260°С температурада реттелетін ауа берумен (1 л/кг·мин) жүргізілді. Тотығу процестерін жеделдетіп, битумның асфальтенді-шайырлы құрылымын қалыптастыратын катализатор ретінде 0,5% марганец қышқылының калий тұзы қолданылды. Сынамалар ену, жұмсарту, ұзару және сынғыштық нүктелерін анықтай отырып, ҚР СТ және МЕМСТ стандарттарына сәйкес талданды.

$KMnO_4$ енгізу төмен температурада тұрақты тотығу реакциясын қамтамасыз ететіні анықталды, бұл жоғары өнімділік қасиеттері бар битумның түзілуіне әкеледі. Алынған өнім 111 (0,1 мм, 25°С) енуімен, жұмсарту температурасы 45°С, созылғыштығы 150 см-ден жоғары және сынғыштық температурасы -19°С сипатталады.

Бұл көрсеткіштер БНД 70/100 маркалы битумдарға қойылатын талаптарға толық сәйкес келеді. Жүргізілген зерттеулер ауыр мұнай қалдықтарының тотығуында катализатор ретінде калий перманганатын қолданудың тиімділігін растады. Ұсынылған әдіс жеңілдетілген процесс ағынын, энергияны тұтынуды азайтуды және жақсартылған экологиялық қауіпсіздікті сипаттайды. Бұл тәсілді Қазақстанның өнеркәсіптік нысандарында енгізу жол битумдарын өндіруді оңтайландыруға, ресурстарды үнемдеуді арттыруға және отандық мұнай өңдеу зауыттарында тұрақты өнім сапасын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: ауыр мұнай қалдықтары, Қаражанбас мұнайы, жол битумдары, каталитикалық тотығу, энергия тиімділігі, жол құрылысы.

IMPROVEMENT OF THE OXIDATION TECHNOLOGY FOR HEAVY OIL RESIDUES FROM KARAZHANBASS OIL

[1]S.K. Bukanova✉, [1,2]G.K. Shambilova, [1]A.I. Abilkhairov, [1]A.S. Bukanova, [1]F.B. Kairliyeva, [3]N.U. Nurgaliyev✉

[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,Astana, Kazakhstan,
e-mail: sauleshik81@mail.ru, nurgaliev_nao@mail.ru

Current trends in the development of Kazakhstan’ s oil refining and road construction industries require the introduction of energy-efficient and environmentally sound technologies for bitumen production. In

the context of growing demand for high-quality binding materials, catalytic oxidation processes are becoming particularly relevant, as they allow reactions to be intensified at mild temperatures and reduce the load on equipment.

This work is aimed at experimentally proving the possibility of replacing the traditional 're-oxidation-dilution' scheme with a simplified technology of direct catalytic oxidation of heavy oil residues from Karazhanbas oil using potassium permanganate ($KMnO_4$) as an active catalyst. The main task was to obtain BND 70/100 road bitumen that meets the requirements of ST RK 1373-2013, while reducing energy costs and eliminating the compounding stage.

The study used tar and darkened vacuum fraction obtained from Karazhanbas oil. Oxidation was carried out in a batch laboratory reactor at temperatures of 140–260°C with a controlled air supply (1 l/kg·min). A 0.5% potassium salt of manganic acid was used as a catalyst to accelerate the oxidation processes and form an asphalt-resinous bitumen structure. The selected samples were analysed according to ST RK and GOST standards: penetration, softening temperature, ductility and brittleness temperature were determined.

It was found that the introduction of $KMnO_4$ ensures a stable oxidation reaction at low temperatures, which leads to the formation of bitumen with high performance properties. The resulting product is characterised by a penetration of 111 (0.1 mm, 25°C), a softening point of 45°C, ductility above 150 cm and a brittleness temperature of -19°C. These indicators fully comply with the requirements for BND 70/100 bitumen. Materials and methods. The study used tar and darkened vacuum fraction obtained from Karazhanbas oil. Oxidation was carried out in a batch laboratory reactor at temperatures of 140–260°C with a controlled air supply (1 l/kg·min). A 0.5% potassium salt of manganic acid was used as a catalyst to accelerate the oxidation processes and form an asphalt-resinous bitumen structure. The selected samples were analysed according to ST RK and GOST standards: penetration, softening temperature, ductility and brittleness temperature were determined.

The studies conducted confirmed the effectiveness of potassium permanganate as a catalyst in the oxidation of heavy oil residues. The proposed method is characterised by a simplified technological scheme, reduced energy consumption and increased environmental safety. The implementation of this approach at industrial facilities in Kazakhstan will optimise the production of road bitumen, increase resource conservation and ensure the stable quality of products from domestic oil refineries.

Keywords: heavy oil residues, Karazhanbas oil, road bitumen, catalytic oxidation, energy efficiency, road construction.

Введение. Развитие дорожной инфраструктуры Казахстана требует стабильного обеспечения отрасли качественными дорожно-строительными материалами. Одной из ключевых проблем остаётся дефицит и нестабильное качество битумов, от которых зависят надёжность и долговечность дорожных покрытий. В условиях сезонных колебаний спроса дефицит битума усиливается, особенно в летние месяцы, когда объём потребления достигает 150 тыс. тонн в месяц при совокупной мощности заводов менее 100 тыс. тонн. Данный дисбаланс между производством и потреблением не только вызывает перебои в поставках, но и способствует росту цен на битум в строительный сезон [1].

Основными производителями дорожного битума в Казахстане являются ТОО «СП Caspi Bitum», Павлодарский НХЗ, ТОО «Qazaq Bitum» и другие предприятия, суммарно обеспечивающие внутренний рынок. Однако для покрытия растущего спроса требуется совершенствование технологий и повышение эффективности переработки тяжёлых нефтяных остатков.

Целью настоящего исследования является оценка эффективности каталитического окисления тяжёлых нефтяных остатков Каражанбасской нефти с применением $KMnO_4$ для полу-

чения битумов, соответствующих требованиям стандарта СТ РК 1373-2013.

ТОО «Caspi Bitum» является одним из крупнейших производителей, вяжущих в Казахстане. Производство дорожных битумов состоит из двух основных установок: установки ЭЛОУ-АВТ, где нефть месторождения Каражанбас очищается от воды и солей, а затем подвергается многоступенчатой ректификации при атмосферном и вакуумном давлении. Полученный гудрон превращается в дорожный битум двух видов: обычный окисленный и модифицированный, с применением современных стирол-бутадиен-стирольных полимеров [2].

Существует три основных способа производства нефтяных битумов:

- глубоковакуумная перегонка мазутов высокосернистых высокосмолистых нефтей (остаточных битумов) [3];

- окисление кислородом воздуха различных нефтяных остатков (гудронов, полугудронов, мазутов, экстрактов селективной очистки масел, асфальтов деасфальтизации, крекинг-остатков или их смесей) при температуре 180-300°С [4];

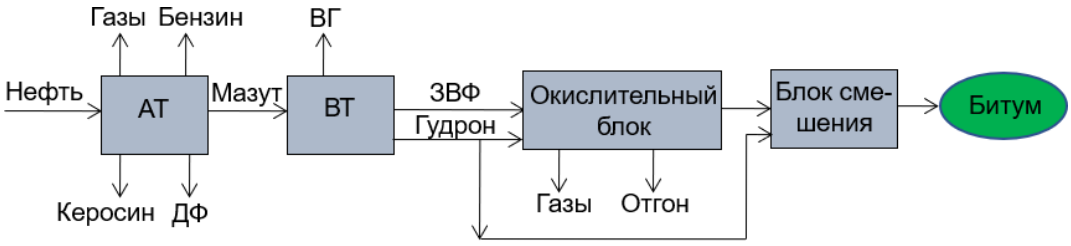
- компаундирование (смешение) различных нефтяных остатков с дистиллятами и с остаточными или окисленными битумами и др. [5].

Возможны и сочетания указанных выше способов.

Прямое окисление нефтяных остатков (гудронов) и смесевых композиций гудронов с другими остаточными продуктами переработки - наиболее распространенная технология из всех вышеперечисленных [6].

Гудрон - это остаток глубоковакуумной перегонки мазута, последний получают после атмосферной перегонки нефтей в атмосферной колонне с одновременным выделением бензиновых и дизельных фракций углеводородов. Гудрон окисляют в специальных аппаратах (реакторах) продувая через него воздух. Процесс окисления проводят при повышенных температурах 240-260°С [7]. В результате получают дорожные битумы, которые должны соответствовать по своим качественным показателям требованиям СТ РК 1373-2013.

Для производства улучшенных дорожных битумов также возможно применение апробированной в промышленности и хорошо зарекомендовавшей себя технологии «переокисление-разбавление». Суть ее заключается в том, что исходное сырье (гудрон) окисляют до значения показателя «температура размягчения», равного 90-105°С. Далее этот стабильный асфальтосмолистый «структурный каркас» битума - концентрат смол и асфальтенов пластифицируют путем добавления к нему исходного стабильного неокисленного прямогонного гудрона.



АТ – атмосферная трубчатка; ВТ – вакуумная трубчатка;
ДФ – дизельная фракция; ВГ – вакуумный газойль;
ЗВФ – затемненная вакуумная фракция

Рис.1 - Схема переработки нефти месторождения Каражанбас с получением дорожных битумов

Такая технология применяется в ТОО «CASPI BITUM» (рисунок 1). Однако данная схема энергоёмка и требует отдельного блока компаундирования.

На стадии компаундирования при возникнове-

нии необходимости повышение пластичности и улучшения низкотемпературных характеристик битума в смесь окисленного и неокисленного компонентов дополнительно вводят пластифицирующие добавки: тяжелый вакуумный газойль, затемненную фракцию. Отличительной особенностью данной технологии является получение гудрона требуемой плотности и вязкости, а также обеспечение производства битумов пластификатором – тяжелым вакуумным газойлем и затемненной фракцией. Кроме того, для уменьшения потребления пара для создания глубокого вакуума в вакуумной колонне используется гидроэжекторная вакуумсоздающая система [8].

Материалы и методы. Одним из путей совершенствования процессов получения битумов является введение различных активирующих добавок или катализаторов, которые позволяют увеличить производительность битумной установки, улучшить свойства получаемых битумов и сократить удельные энергетические затраты [9].

Использование катализаторов, таких как хлорид железа (III) [1000], ортофосфорная кислота и их композиции [11111], позволяет ускорить процесс окисления, снизить рабочую температуру и повысить качество получаемых битумов.

В ходе исследований установлено, что добавление KMnO4 в нефтяные остатки способствует проведение процесса в более мягких условиях (140-150°С). Смесь, содержащую 90% каражанбасского гудрона и 10% окисленной затемнённой вакуумной фракции окисляют при температуре 240-260°С [12222].

Нами были исследованы гудрон и затемненная вакуумная фракция Каражанбасской нефти. Фракционный состав затемненной вакуумной фракции следующий: начало кипения - 409°С; 5% выкипает при 453°С; 10% - 462°С; 20% - 472°С; 30% - 478°С; 40% - 485°С; 50% - 492°С; 60% - 500°С; 70% - 509°С; 80% - 523°С; 90% - 545; конец кипения - 548°С.

Окисление нефтяных остатков в лабораторных условиях осуществляли в лабораторном кубике периодического действия. В общем, процесс окисления сырья в лабораторных условиях аналогичен промышленному процессу производства битумов в окислительных кубах.

Лабораторный кубик (рисунок 2) представляет собой термоизолированный аппарат с регулируемым электрообогревом. Во внутреннюю часть аппарата вставляется стальной стакан, в котором происходит собственно окисление. Стакан оборудован крышкой, на которой крепятся: штуцер для подачи воздуха на окисление, барботер, штуцер для вывода отгона и газов окисления и термометр.

Затемненную вакуумную фракцию каражанбаской нефти (410-550°С) наливают в стакан. Рабочий объем продукта в стакане не должен превышать 70% его геометрического объема. Стакан закрывают крышкой, оборудованной перечисленными приспособлениями, и включают электрообогрев.

В данном эксперименте в качестве катализатора селективного окисления парафиновых углеводородов добавлена калийная соль 0,5% марганцевой кислоты в расчете на двуокись марганца.

При достижении температуры продукта в стакане 140-150ºС вводится воздух. Оптимальный рабочий расход воздуха 1 л/кг сырья в минуту. Расход, подаваемого на окисление, регулируют ротаметром. С момента подачи воздуха на окисление начинают отсчет времени течения процесса, продолжительность реакции 4 часа.

Газы окисления и отгон через верхний штуцер, сообщающийся с зоной сепарации аппарата, выводят в сепаратор, охлаждаемый водой. Сконденсированный отгон выводят с низа сепаратора, а несконденсировавшиеся пары и газы выводят в вытяжную вентиляцию.

Далее окисленную затемненную вакуумную фракцию (10%) и 90% каражанбаского гудрона окисляли в лабораторном кубике при 240-260°С при скорости подачи воздуха 1 л/кг·мин.

По истечении первых двух часов окисления отбирают специальным пробоотборником пробу для определения температуры размягчения окисляемого продукта. Следующий отбор про-

бы для анализа отбирают также через 2 часа. В зависимости от интенсивности процесса окисления, пробу для анализа следует отбирать через иные промежутки времени, позволяющие достаточно достоверно построить кинетику течения процесса. Если значение показателя «температура размягчения» приближается к требуемому значению, отбор проб для испытаний проводят через каждые 15-20 минут.

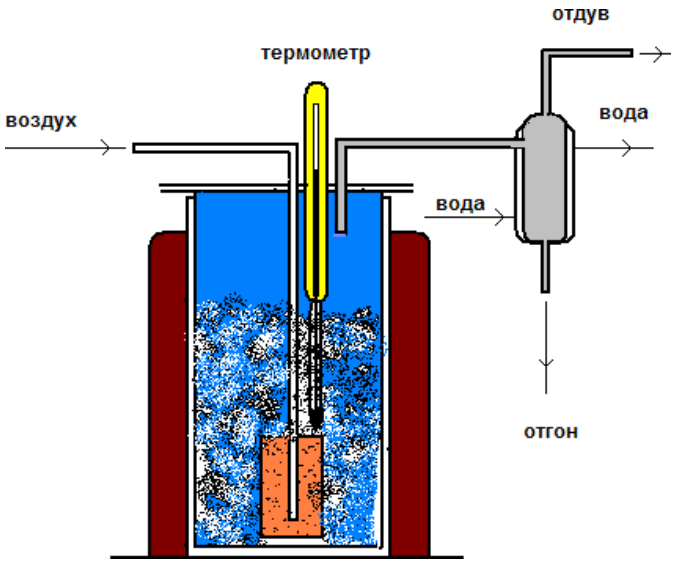


Рис.2 - Лабораторный окислительный кубик периодического действия

При значении показателя «температура размягчения» на 2-3ºС ниже требуемого заданием на работу значения, подачу воздуха на окисление прекращают, электрообогрев кубика отключают.

После остывания битума в кубике до 100-120ºС битум из кубика сливают и разливают в специальные формы для проведения полного комплекса испытаний.

Результаты и обсуждение. При окислении были отобраны пробы и проведен качественный анализ полученного битума (таблица 1).

Таблица 1 - Результаты испытаний образца нефтяного битума, полученного в условиях лаборатории

Наименование показателей, единицы измерения	СТ РК 1373	Образец	Методы испытания
Глубина проникания иглы, 0,1 мм при 25°С0ºС	71-10022	11122	СТ РК 1226
Температура размягчения по кольцу и шара, ºС	45	43	СТ РК 1227
Растяжимость, см прине менее 25ºС0ºС	753.8	более 1504,3	СТ РК 1374
Температура хрупкости по Фраасу, ºС	не выше-18	- 19	СТ РК 1229

Из данных таблицы 1 следует, что в результате данной работы был получен дорожный битум со следующими технологическими характеристиками: пенетрацией при 25°С-111 мм; температурой размягчения 45°С; дуктильностью при 25°С более 150 см и температурой хрупкости минус 19°С, что соответствует СТ РК 1373 на марку битума БНД 70/100.

На основании проведенных исследований, рассмотрена возможность использования данного метода [1222222] с целью получения требуемых эксплуатационных характеристик битумов (рисунок 3).

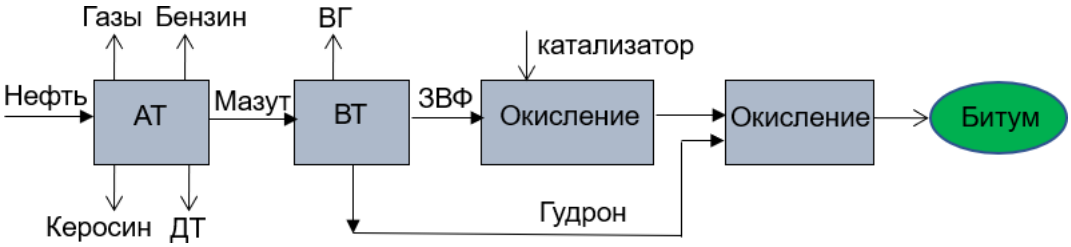


Рис.3 - Предлагаемая схема замены традиционного компаундирования каталитическим окислением

В таблице 2 приведена сравнительная характеристика технологических схем получения битума БНД 70/100.

Таблица 2 - Сравнительная характеристика схем

Показатель	**Схема «переокисление-разбавление»**	**Каталитическое окисление с $KMnO_4$**
Стадии	окисление + компаундирование	Каталитическое окисление
Температурный режим	240-260°С + последующее разбавление	140-260°С в присутствии катализатора
Катализаторы	отсутствуют	$KMnO_4$ (0,5%)
Энергозатраты	высокие	ниже на 10–15%
Продолжительность цикла	5–6 часов	4 часа
Необходимость компаундирования	Да	Нет

Полученные экспериментальные данные показывают, что каталитическая добавка перманганата калия (0,05-0,1 %) существенно влияет на направление и скорость процессов окисления тяжёлых нефтяных остатков Каражанбасской нефти. Анализ показателей качества готовых битумов (таблицы 1-2) подтверждает, что применение $KMnO_4$ позволяет оптимизировать условия окисления и сформировать сбалансированное соотношение смолистых и асфальтеновых компонентов, что проявляется в повышении температуры размягчения, снижении температуры хрупкости и стабилизации показателей растяжимости.

В традиционном термоокислительном процессе без катализатора наблюдаются параллельные реакции деструкции и поликонденсации, что приводит к образованию избыточного количества твёрдых смол и ухудшению коллоидной стабильности битума [4, 8].

Введение небольшого количества перманганата калия обеспечивает контролируемое протекание окислительных реакций. Ионы Mn^{7} , переходя в состояние Mn^{4} , ускоряют стадии дегидрирования и образования полярных функциональных групп (карбоксильных, гидроксильных, карбонильных), способствуя формированию устойчивой асфальто-смоло-

асфальтеновой структуры.

Динамика изменения физико-механических свойств подтверждает влияние катализатора на механизм структурообразования. На начальных стадиях окисления ионы Mn^{7} выполняют роль инициаторов цепных радикальных реакций, а образующийся MnO_2 формирует каталитически активную поверхность, на которой протекают реакции конденсации смол в асфальтены. Таким образом, катализатор одновременно выполняет функции ускорителя и структурообразующего агента.

Сравнение с литературными данными показывает, что каталитическая активность перманганата калия сопоставима с $FeCl_3$, H_3PO_4 и NiO, однако его применение обеспечивает улучшение качества продуктов окисления. При этом достигается высокая степень окисления без побочных реакций, таких как образование кокса, что подтверждает высокую селективность катализатора по отношению к насыщенным углеводородным фрагментам. Это является значительным преимуществом для тяжёлых нефтяных остатков Каражанбасской нефти, богатых парафиновыми структурами.

Каталитическая схема окисления не только улучшает физико-химические свойства битума, но и обеспечивает существенный ресурсосберегающий эффект.

В целом анализ показывает, что каталитическое окисление с использованием небольшого количества $KMnO_4$ приводит к формированию стабильной коллоидной структуры битума с оптимальным соотношением асфальтеновой и смолистой фаз. Полученные результаты подтверждают эффективность применения перманганата калия в качестве катализатора окисления тяжёлых нефтяных остатков и обеспечивают стабильные эксплуатационные характеристики готового продукта.

Выводы. В ходе проведённых исследований изучено влияние предварительного каталитического окисления парафинсодержащей затемнённой фракции Каражанбасской нефти и последующего совместного окисления с гудроном Каражанбасской нефти на формирование структурно-механических и физико-химических свойств полученного окисленного битума.

В качестве катализатора на стадии предварительной обработки сырья до основного процесса окисления использовался перманганат калия ($KMnO_4$). Такой подход позволил целенаправленно регулировать соотношение смолисто-асфальтеновых соединений и исключить необходимость стадии «избыточного окисления-разбавления», характерной для традиционных схем.

Использование $KMnO_4$ в качестве катализатора способствует протеканию реакций частичного окисления парафиновых соединений, что, в свою очередь, обеспечивает образование устойчивых асфальтено-смолистых структур. В результате достигается оптимальное соотношение между коллоидно-дисперсной и гелеобразной фазами, повышающее термическую стабильность и пластичность готового продукта.

Физико-химические показатели полученных битумов-глубина проникания иглы, температура размягчения, растяжимость и температура хрупкости-находятся в оптимальном диапазоне и соответствуют требованиям СТ РК 1373-2013 для битумов марки БНД 70/100. Результаты лабораторных испытаний подтверждают, что применение каталитической стадии обеспечивает более высокий уровень структурной однородности и стабильности битумов.

Установлено, что предварительное каталитическое окисление затемнённой фракции повышает технологическую гибкость процесса, что позволяет регулировать структуру и свойства битума в широких пределах без существенных изменений температуры и продолжительности окисления. Таким образом, предложенный подход обеспечивает стабильность качества готового продукта.

Практическая значимость результатов заключается в том, что предложенный метод может быть внедрён на действующих битумных заво-

дах без значительных изменений технологического оборудования, что делает процесс привлекательным для модернизации отечественного производства дорожных битумов и повышения его ресурсной эффективности.

Полученные битумы характеризуются улучшенными эксплуатационными свойствами, что особенно важно для континентального климата Казахстана и его дорожных условий. Применение каталитически окисленных битумов может способствовать увеличению прочности асфальтобетонных покрытий и снижению затрат на их ремонт и содержание.

Разработка научно-технических основ промышленного внедрения каталитических технологий окисления гудронов на отечественных нефтеперерабатывающих заводах представляется целесообразной и позволит повысить конкурентоспособность и качество казахстанских дорожных материалов.

Литература

1. Как в Казахстане планируют решать проблему дефицита битума.URL: URL: https://www.inform.kz.- Дата обращения: 07.09.2025.

2. Аналитический отчет по рынку битума в Республике Казахстан [Электронный ресурс]. URL: https://ccx.kz/analytical-report-bitumen-market.- Дата обращения: 16.09.2025.

3. Djimasbe R., Galiullin E.A., Varfolomeev M.A., et.al. Experimental study of non-oxidized and oxidized bitumen obtained from heavy oil//Sci. Rep. -2021.-Vol.11(1).-P.1-10. DOI 10.1038/s41598-021-87398-2.

4. Тлехусеж М.А., Дубиненко Н.А. Влияние химических процессов производства строительных битумов на их свойства//Научные труды КубГТУ. -2024. -№ 2.- С.50-58. DOI 10.26297/2312-9409.2024.2.4.

5. Khusnutdinov I., Goncharova I., Safiulina A. Extractive deasphalting as a method of obtaining asphalt binders and low-viscosity deasphalted hydrocarbon feedstock from natural bitumen//Egyptian Journal of Petroleum.-2021.-Vol.30(2).-P.69-73. DOI 10.1016/j.ejpe.2021.03.002.

6. Кутьин Ю.А., Теляшев Э.Г. Битумы и битумные материалы. Нормативы, качество, технологии / Ю.А. Кутьин, Э.Г. Теляшев. ГУП ИНХП РБ. -2018.- 272 с. ISBN 978-5-902159-56-8.

7. Abbasov V.M., Efendieva L.M., Cherepnova Yu.P., Nasibova G.G., et al. Commercial Production of Bitumen via Oxidation of Vacuum Residue over Iron Catalysts/Petroleum Chemistry. -2025.-Vol.65(3). -P.298-303. DOI 10.1134/S0965544125600596.

8. Грудников И.Б. Нефтяные битумы. Процессы и технологии производства / И.Б. Грудников.-Уфа: ГУП ИНХП РБ. -2015.- 288 с. ISBN 978-5-902159-51-3.

9. Евдокимова Н.Г., Прозорова О.Б., Буканова С.К. Совершенствование технологии производства окисленных битумов как способ повышения эффективности энергосбережения // Нефть и газ. - 2015. - №1. - С.43-52.

10. Лю Инчжоу, МалгаждароваН.С., Онгарбаев Е.К., Тлеуберды Е., Акказин Е.А.,Умбеткалиев К.А. Исследование влияния хлористого железа на свойства окисленных битумов. - 2016. URL: https: //www.rusnauka.com/18_NPN_2016/Chimia/8_213557.doc.htm.- Дата обращения: 16.09.2025.

11. Онгарбаев Е.К., Жамболова А.Б., Тилеуберди Е. и др. Окисление тяжелых нефтяных остатков в присутствии катализаторов и модификаторов // Горение и плазмохимия.-2019. -№17.-С.47-56. DOI 10.18321/cpc286

12. Абилхайров А.И., Шамбилова Г.К., Буканова С.К., Карабасова Н.А., Кайрлиева Ф.Б., Наурызбаева А.Д., Сакипова Л.Б., Имангалиева Ф.Б. Способ получения окисленного битума: патент на полезную модель №10821. Казахстан, опубл.04.07.2025.

References

1. Kak v Kazahstane planirujut reshat’ problemu deficita bituma.URL: URL: https://www.inform.kz.- Data obrashhenija: 07.09.2025.[in Russian]

2. Analiticheskij otchet po rynku bituma v Respublike Kazahstan [Jelektronnyj resurs]. URL: https://ccx.kz/analytical-report-bitumen-market.- Data obrashhenija: 16.09.2025. [in Russian]

3. Djimasbe R., Galiullin E.A., Varfolomeev M.A., et.al. Experimental study of non-oxidized and oxidized bitumen obtained from heavy oil//Sci. Rep. -2021.-Vol.11(1).-P.1-10. DOI 10.1038/s41598-021-87398-2.

4. Tlehusezh M.A., Dubinenko N.A. Vlijanie himicheskih processov proizvodstva stroitel’ nyh bitumov na ih svojstva//Nauchnye trudy KubGTU. -2024. -№ 2.- C.50-58. DOI 10.26297/2312-9409.2024.2.4.[in Russian]

5. Khusnutdinov I., Goncharova I., Safiulina A. Extractive deasphalting as a method of obtaining asphalt binders and low-viscosity deasphalted hydrocarbon feedstock from natural bitumen//Egyptian Journal of Petroleum.-2021.-Vol.30(2).-P.69-73. DOI 10.1016/j.ejpe.2021.03.002.

6. Kut’ in Ju.A., Teljashev Je.G. Bitumy i bitumnye materialy. Normativy, kachestvo, tehnologii / Ju.A. Kut’ in, Je.G. Teljashev. GUP INHP RB. -2018.- 272 c. ISBN 978-5-902159-56-8.[in Russian]

7. Abbasov V.M., Efendieva L.M., Cherepnova Yu.P., Nasibova G.G., et al. Commercial Production of Bitumen via Oxidation of Vacuum Residue over Iron Catalysts/Petroleum Chemistry. -2025.-Vol.65(3). -P.298-303. DOI 10.1134/S0965544125600596.

8. Grudnikov I.B. Neftjanye bitumy. Processy i tehnologii proizvodstva / I.B. Grudnikov.-Ufa: GUP INHP RB. -2015.- 288 c. ISBN 978-5-902159-51-3. [in Russian]

9. Evdokimova N.G., Prozorova O.B., Bukanova S.K. Sovershenstvovanie tehnologii proizvodstva okislennyh bitumov kak sposob povyshenija jeffektivnosti jenergosberezhenija //Neft’ i gaz. - 2015. -№1. - S.43-52. [in Russian]

10. Lju Inchzhou, MalgazhdarovaN.S., Ongarbaev E.K., Tleuberdy E., Akkazin E.A.,Umbetkaliev K.A. Issledovanie vlijanija hloristogo zheleza na svojstva okislennyh bitumov. - 2016. URL: https://www.rusnauka.com/18_NPN_2016/Chimia/8_213557.doc.htm.- Data obrashhenija: 16.09.2025. [in Russian]

11. Ongarbaev E.K., Zhambolova A.B., Tileuberdi E. i dr. Okislenie tjazhelyh neftjanyh ostatkov v prisutstvii kataliz[in Russian]atorov i modifikatorov // Gorenie i plazmohimija.-2019. -№17.-S.47-56. DOI 10.18321/cpc286.

12. Abilhajrov A.I., Shambilova G.K., Bukanova S.K., Karabasova N.A., Kajrlieva F.B., Nauryzbaeva A.D., Sakipova L.B., Imangalieva F.B. Sposob poluchenija okislennogo bituma: patent na poleznuju model’ №10821. Kazahstan, opubl.04.07.2025. [in Russian]

Сведения об авторах

Буканова С.К. - старший преподаватель Атырауского университета нефти и газа им. Сафи Утебаева, Атырау, Казахстан, e-mail: sauleshik81@mail.ru;

Шамбилова Г.К. - д.х.н., профессор Атырауского университета нефти и газа им. Сафи Утебаева и Атырауского университета им. Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан, e-mail: shambilova_gulba@mail.ru;

Абилхайров А.И. - к.х.н., ассоциированный профессор Атырауского университета нефти и газа им. Сафи Утебаева, Атырау, Казахстан, e-mail: a.abilkhayrov@mail.ru;

Буканова А.С. - к.т.н., профессор Атырауского университета нефти и газа им. Сафи Утебаева,Атырау, Казахстан, e-mail: bukanova66@mail.ru;

Кайрлиева Ф.Б. - к.т.н., старший преподаватель Атырауского университета нефти и газа им. Сафи Утебаева, Атырау, Казахстан, e-mail: kairliyeva.fazi@mail.ru;

Нургалиев Н.У. - к.х.н., ассоциированный профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru.

Information about the authors

Bukanova S.R.- Senior Lecturer, Safi Utebayev Atyrau oil and gas university, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: sauleshik81@mail.ru;

Shambilova G.K. - Doctor of Chemical Sciences, Professor, Safi Utebayev of Atyrau oil and gas university and H. Dosmukhamedov University, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: shambilova_gulba@mail.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;

Bukanova A.S. - Candidate of technical Sciences, Professor, Safi Utebayev Atyrau oil and gas university, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: bukanova66@mail.ru;

Kairliyeva F.B. - Candidate of technical Sciences, Senior Lecturer, Safi Utebayev Atyrau oil and gas university, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: kairliyeva.fazi@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.

МРНТИ 61.35.29 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1305**

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЗОЛЫ-УНОСА В ПОЛУЧЕНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ОТХОДОВ ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

[1]С.С. Маусумбаев, [1]М.А. Елубай, [1]Д.Т. Толегенов, [1]С.Р. Масакбаева, [2]Г.С. Айткалиева

[1]Торайгыров университет, Казахстан,
[2]Сатпаев университет,Казахстан

Корреспондент-автор: www.dika-92@mail.ru

В данной статье авторами рассматриваются современные методы анализы и перспективы применения золы-уноса в получении керамических изделий. Авторы исследовали золошлаковые отходы (ЗШО) ТЭЦ и ГРЭС, их физико-химические и физико-механические свойства, а также полученных на основе них образцов керамических материалов.

Как известно, в настоящее время более 80 % всех работающих теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) и гидроэлектростанций (ГРЭС) в мире работают все еще на угле. Применение угля как источника топлива на ТЭЦ и ГРЭС связано все еще большими запасами угольных месторождений. Это говорит о том, что ежегодно увеличиваются объемы складируемых золошлаковых отходов (ЗШО). С увеличением объемов шламохранилищ увеличиваются территории и бассейны для складирования образуемых золы-уноса и ЗШО. Данная проблема касается и для нашей страны, где основная проблема состоит в их утилизации и вторичном использовании.

В ходе выполнения научно-исследовательской работы авторами были получены результаты физико-химических и физико-механических свойств образцов керамических изделий и сделаны выводы о перспективах использования золы-уноса в качестве добавочного агента в состав керамической массы. В ходе исследований были подобраны оптимальные составы сырьевых материалов на основе золы-уноса для получения образцов композиционных изделий.

Ключевые слова: керамические материалы, зола-уноса, теплоэлектроцентрали, золошлаковые отходы, гранулометрический анализ, сканирующая электронная микроскопия, керамическая масса.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ЭНЕРГЕТИКА ҚАЛДЫҚТАРЫ МЫСАЛЫНДА КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ МАТЕРИАЛДАРДЫ АЛУДА КҮЛ-ТАСЫҒЫШТЫ ҚОЛДАНУ ПЕРСПЕКТИВАСЫН ТАЛДАУ

[1]С.С. Маусумбаев, [1]М.А. Елубай, [1]Д.Т. Төлегенов, [1]С.Р. Масакбаева, [2]Г.С. Айткалиева

[1]Торайгыров университеті, Павлодар, Қазақстан,
[2]Сәтпаев университеті, Алматы, Қазақстан,
e-mail: www.dika-92@mail.ru

Бұл мақалада авторлар керамикалық бұйымдарды өндіруде күлді жоюдың қазіргі заманғы әдістері мен перспективаларын қарастырады. Авторлар ЖЭО мен ГРЭС күл-қож қалдықтарын, олардың физика-химиялық және физика-механикалық қасиеттерін, сондай-ақ олардан алынған керамикалық материалдардың үлгілерін зерттеді.

Қазіргі уақытта әлемдегі барлық жұмыс істейтін жылу электр орталықтарының (ЖЭО) және су электр станцияларының (СЭС) 80% - дан астамы әлі де көмірмен жұмыс істейтіні белгілі. ЖЭО мен СЭС-те көмірді отын көзі ретінде пайдалану көмір кен орындарының әлі де үлкен қорларымен байланысты. Бұл жыл сайын жиналатын күл-қож қалдықтарының көлемі артып келе жатқанын көрсетеді. Шлам қоймаларының көлемінің ұлғаюымен пайда болған күл-тасығыштарды және күл-қож қалдықтарын сақтауға арналған аумақтар мен бассейндер ұлғаяды. Бұл мәселе біздің еліміз

үшін де қатысты, мұнда негізгі мәселе оларды кәдеге жарату және қайталама пайдалану болып табылады.

Ғылыми-зерттеу жұмыстарын орындау барысында авторлар керамикалық бұйымдар үлгілерінің физика-химиялық және физика-механикалық қасиеттерінің нәтижелерін алды және күл-қоқысты керамикалық массаның құрамына қосымша агент ретінде пайдалану перспективалары туралы қорытынды жасады. Зерттеу барысында композициялық бұйымдардың үлгілерін алу үшін күлге негізделген шикізаттың оңтайлы құрамы таңдалды.

Негізгі сөздер: керамикалық материалдар, күл-тасы, жылу электр орталықтары, күл-қож қалдықтары, гранулометриялық талдау, сканерлеуші электронды микроскопия, керамикалық масса.

ANALYSIS OF THE PROSPECTS FOR THE USE OF FLY ASH IN THE PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIALS USING THE EXAMPLE OF ENERGY WASTE IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

[1]S.S. Maussumbayev, [1]M.A. Yelubay, [1]D.T. Tolegenov✉, [1]S.R. Masakbayeva, [2]G.S. Aitkaliyeva

[1]Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan,
[2]Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: www.dika-92@mail.ru

In this article, the authors consider modern methods of analysis and prospects for the use of fly ash in the production of ceramic products. The authors investigated ash and slag waste Thermal power plants and GRES, their physico-chemical and physico-mechanical properties, as well as samples of ceramic materials obtained on the basis of them.

As you know, currently more than 80% of all operating thermal power plants (CHP) and hydroelectric power plants (GRES) in the world are still coal-fired. The use of coal as a fuel source at thermal power plants and GRES is still associated with large reserves of coal deposits. This indicates that the volume of stored ash and slag waste is increasing annually. With an increase in the volume of sludge storage facilities, territories and basins for storing the generated fly ash and waste water are increasing. This problem also applies to our country, where the main problem is their disposal and recycling.

In the course of the research, the authors obtained the results of the physico-chemical and physico-mechanical properties of ceramic product samples and drew conclusions about the prospects of using fly ash as an additive agent in the composition of ceramic mass. During the research, optimal compositions of raw materials based on fly ash were selected to obtain samples of composite products.

Keywords: ceramic materials, fly ash, thermal power plants, ash and slag waste, granulometric analysis, scanning electron microscopy, ceramic mass.

Введение. Несмотря на стремительное развитие современных технологий в энергетической отрасли, уголь все же остается во всем мире одним из основных источников энергии. Разумеется, как и любой другой вид энергетических ресурсов, добыча и использование угля наносит вред окружающей среде. Как известно, процесс сжигания угля сопровождается производством, так называемых, шлаковых отходов [1].

В настоящее время, развитие отрасли по производству керамических изделий напрямую связано с непрерывной модернизацией существующих технологий (процессов), освоением производства новых материалов, использованием отходов местных производств в качестве сырьевых и добавочных материалов, повышением экономичности и снижением энергоемкости действующих производств. Тенденция к истощению природных ресурсов для производства стеновой керамических изделий способствовала выявлению качественного сырья из отходов теплоэнергетических производств. Поэтому одним из перспективных направлений, как утверждают авторы [2], является использование золы гидро-

удаления от сжигания каменного угля на тепловых электростанциях (ТЭС) в качестве одного из основного топливосодержащего сырья. По мнению авторов, наработанная практика научных исследований и промышленного использования золошлаковых смесей из отвалов ТЭС в производстве эффективных стеновых глинозольных изделий показала не только пригодность химико-минералогического состава сырья, но и возможность энергосбережения при термической обработке [2].

Материалы и методы. В последние года в Казахстане резко уменьшилась доля переработки и утилизации промышленных отходов. По информации Бюро национальной статистики АСПиР РК (рисунок 1), в 2022 году в стране было образовано 888,1 млн тонн различного производственного мусора - на 20,5% больше, чем в 2017-м. В целом в стране накоплено около 32 млрд тонн промышленных «хвостов» [3].



Рис.1 - Анализ образования, переработки и утилизации промышленных отходов в Казахстане [3]

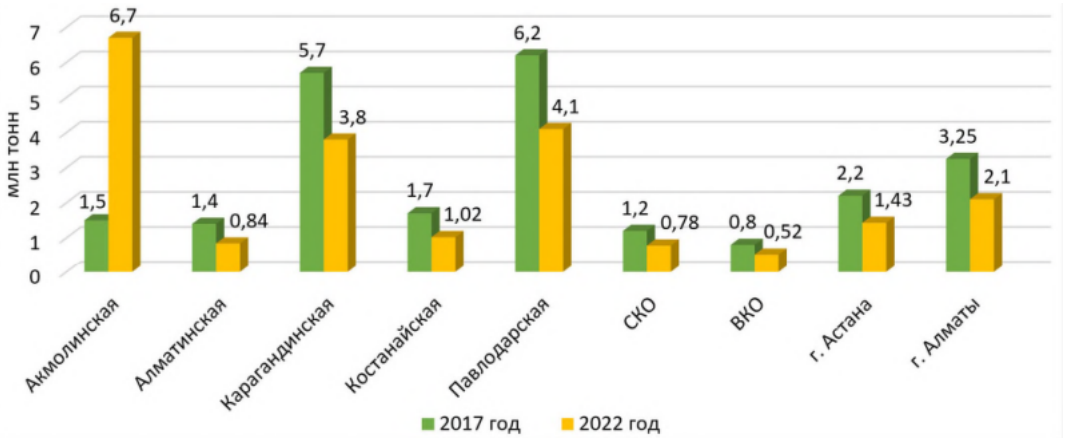


Рис.2 - Образование золошлаковых отходов в областях Республики Казахстан [4]

Как известно, в Казахстане имеется значительное количество тепловых электрических станций. Каждый год увеличивается количество золошлаковых отходов (ЗШО), образующихся на ТЭЦ, ГРЭС, в котельных. Топливно-электроэнергетический комплекс является од-

ним из основных «загрязнителей» окружающей природной среды. Ухудшение экологической обстановки небезосновательно связано с загрязнением атмосферы. Ежегодный выход золы и золошлаковых смесей в Казахстане при сжигании углей составляет более 17 млн т, а в золоотвалах накоплено более 300 млн тонн отходов золы (рисунок 2) [4].

Как утверждают авторы [4], из золошлаковых отходов, вырабатываемых ТЭЦ, в Казахстане перерабатывается около 8% золы (менее 1,9 млн тонн) на исследовательско-производственном уровне. Если использование ЗШО останется на этом уровне, то к 2030 году объём накопленных отходов достигнет 1 млрд тонн [3]. Конечно же, это очень низкий показатель переработки для накопленных энергетических отходов. Поэтому переработка ЗШО в экологически безопасные строительные материалы остается весьма актуальной проблемой и для нашей страны.

Так, авторы [5] изучили экологические аспекты применения золы от сжигания осадка сточных вод в производстве стеновой керамики, где авторами изучены влияние золы от сжигания осадка сточных вод на химический состав керамического кирпича. Также учеными [5] проведена оценка эффективности методов снижения концентраций тяжелых металлов в строительной керамике.

Немаловажным фактором и критерием для керамических изделий является еще одно их свойство – морозостойкость. В работе [6] авторы показывают возможность применения пылей газоочистки производства ферросплавов (ПГПФ) и жидкого стекла в качестве основных компонентов сырьевой смеси для изготовления материала полусухого прессования, обладающего повышенной морозостойкостью. Как отмечают авторы, важно, что с повышением температуры до 850 ^{0}С существенно возрастает количество промежуточных пор (рисунок 3). Таким образом, развитая микропористость черепка предопределяет не только снижение теплопроводности, но и повышение морозостойкости стеновых изделий [6].

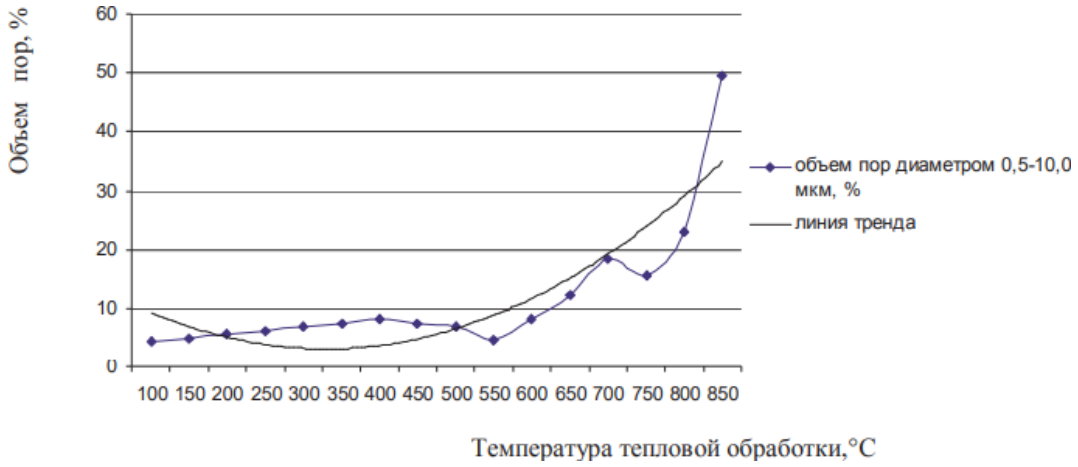


Рис.3 - Зависимость объема пор диаметром 0,5-10,0 мкм от температуры тепловой обработки материала на основе ПГПФ и жидкого стекла [6]

Авторы [7] отмечают, что работа тепловых электрических станций Казахстана характеризуется значительным количеством накопленных золошлаковых отходов. Установлено, что хранение золошлаков вызывает весьма существенное воздействие на окружающую среду в зоне их расположения. Поэтому весьма актуальным является решение вопросов снижения нагрузки на окружающую среду путем разработки технологий утилизации золошлаков и использования их в дорожном строительстве. Учеными разработана технология получения битумо - золошлаково-

го вяжущего для покрытия оснований автодорог и определены ее основные параметры. Определено также, что применение золошлаков в качестве вяжущего для асфальтового покрытия позволит повысить эксплуатационные характеристики дорожного покрытия [7].

Конечно же, применение промышленных отходов в самой материалоемкой отрасли, например – в производстве керамического кирпича может решить многие задачи. К их числу можно отнести: экономия природного сырья, утилизация многотоннажных отходов, снижение экологической напряженности, а самое главное - расширение номенклатуры керамических изделий. Известно, что качество керамических изделий определяются свойствами применяемого сырья. В работе [8] авторами приведены сведения об изменение свойств природного сырья для производства керамического кирпича. Установлено, что разнообразное техногенное сырья может являться хорошим дополнением к природному сырью при производстве керамического кирпича.

В одном из исследований учеными был определён зерновой состав и возможность использования золошлаковых отходов тепловых станций г. Павлодара, г. Екибастуза, ТЭС №4 и Амгалан г. Уланбатыр (Монголия) [8]. Зерновой состав определён методом лазерной дифракции (LSM24) при помощи прибора сит электрического виброгрохота ВГ 028М (рисунок 4).

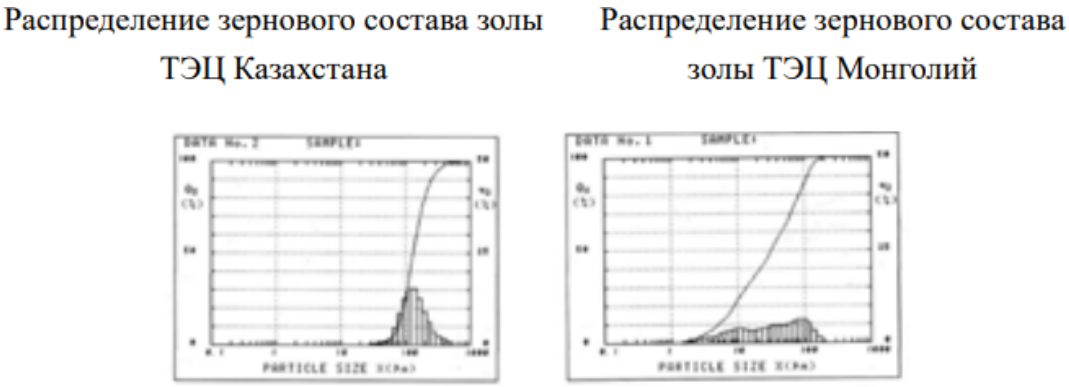


Рис.4 - Интеграл и дифференциал график распределение зернового состава золы ТЭЦ Казахстана и Монголии методом лазерной дифракций [9]

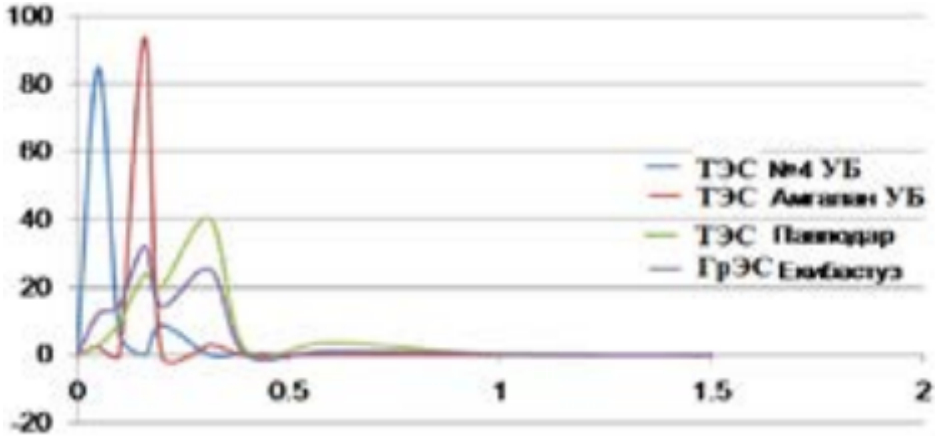


Рис.5 - Интеграл график распределения зернового состава золы ТЭС Казахстана и Монголии методом сит виброгрохот ВГ 028М [9]

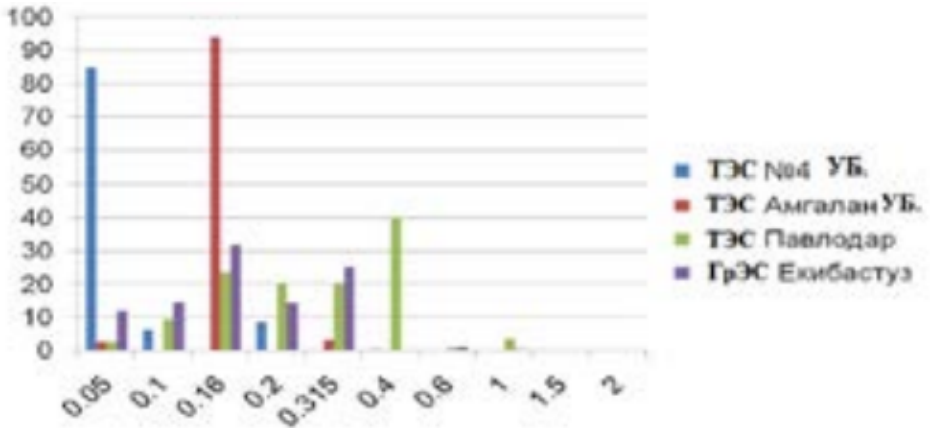


Рис.6 - Интеграл график распределения зернового состава золы ТЭС Казахстана и Монголии методом сит виброгрохот ВГ 028М [9]

В результате опытов учеными установлено, что максимальная прочность конструктивных ячеистых бетонов с содержанием менее 0,05 мм - 84,7 % и менее 0,2 мм - 93,8 % мелким зерновым составом летучей золы теплоэлектростанций №4 и Амгалан г. Уланбатыр. Летучая зола теплоэлектрической станций Экибастуза имеет более крупный зерновой состав и меньшую плотность, соответствует требованиям стандарта газобетона (рисунки 5- 6) [9].

Согласно ГОСТ 25818-91 [10] золы по виду сжигаемого угля подразделяют на:

- антрацитовые, образующиеся при сжигании антрацита, полуантрацита и тощего каменного угля (А);

- каменноугольные, образующиеся при сжигании каменного, кроме тощего, угля (КУ);

- буроугольные, образующиеся при сжигании бурого угля (Б).

Золу-уноса в зависимости от химического состава подразделяют на типы:

- кислые (К) - антрацитовые, каменноугольные и буроугольные, содержащие оксид кальция до 10 %;

- основные (О) - буроугольные, содержащие оксид кальция более 10 % по массе [10].

Применяемая в данной исследовательской работе зола-уноса представляет собой отход от сжигания Экибастузских углей Павлодарских тепловых электростанций [11].

Исследование золы-уноса с Павлодарской ТЭЦ и Аксуской ГРЭС состояло из следующих стадий:

- подготовка образцов;

- обжиг материалов;

- определение физико-механических свойств обожженных композиционных материалов;

- определение физико-химических свойств обожженных композиционных материалов.

Анализ исходной золы-уноса с Павлодарской ТЭЦ и Аксуской ГРЭС осуществлялось следующими методами:

- пробоподготовка;

- рентгенофлуоресцентный анализ;

- инфракрасная Фурье-спектроскопия;

- рентгенофазовый анализ;

- гранулометрический анализ;

- сканирующая электронная микроскопия (СЭМ).

Пробоподготовка

Перед проведением лабораторных исследований образцы были предварительно высушены до постоянной массы в сушильном шкафу UT-4603 (Xieli International Trading Co., Китай) при температуре 100 °C. Для проведения фазового анализа образцы измельчались до фракции ≤ 0,5 мм, тогда как для проведения силикатного анализа до фракции ≤ 15 мкм.

Рентгенофлуоресцентный анализ

Перед проведением анализа проба высушивалась при температуре 105 °С в течение 1 часа, затем прокаливалась при 1000 °С в течение 2,5 часов, после чего смешивалась с флюсом (66,67 масс.% тетрабората лития; 32,83 масс.% метабората лития и 0,5 % лития бромистого) в соотношении 1:9 (общий вес смеси составляет 5 г.). Смесь плавилась в платиновых тиглях в индукционной печи Lifumat-2,0-Ox (Linn High Therm, Германия). Полученные таким образом стекла анализировались на рентгенофлуоресцентном спектрометре ARL-9900-XP (Thermo Electron Corporation, США). Для построения градуировочных графиков использовались следующие стандартные образцы состава горных пород: 313, Му-1, Му-3, Счт-1, Сду-1, Сг-1а, Сг-2, Сг-3. Сгд-1, Сгх-1, Сгхм-2, Сгхм-3, Си-1, Снс-1, Снс-2, Ст-1, а также химреактивы MgO (осч), Al_2O_3 (чда), SiO_2 (чда), $CaSO_4$ (чда), CaO (чда), TiO_2 (чда), Cr_2O_3 (чда), Fe_2O_3 (осч). Погрешность определения не превышает таковую для второй категории точности по ОСТ 41-08-212-82.

Инфракрасная Фурье-спектроскопия

Инфракрасные (ИК) спектры были получены на ИК-Фурье спектрометре FT-801 (Simex, Россия) с использованием приставки нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) и подложки с кристаллом ZnSe при разрешении 4 $см^{-1}$ и количестве сканов, равным 50. Образцы исследовались в виде порошка массой около 250 мг, предварительно измельчённые до 50 мкм на дисковом истирателе ИД-65.

Рентгенофазовый анализ

Рентгеновские дифрактограммы получены на дифрактометре ДРОН-8 (НПП «Буревестник», Россия). При проведении съёмки использовалась рентгеновская трубка с медным анодом. После проведения съемки были получены цифровые рентгенограммы с изображением пиков, показывающих интенсивность отражения рентгеновских лучей от плоских сеток структур минералов под различными углами ($2\Theta^o$).

Гранулометрический анализ

Гранулометрический (зерновой) анализ производился на лазерном анализаторе частиц Ласка-ТД (Биомедицинские системы, Россия). Было выполнено измерение трех образцов подготовленных суспензий (λ от 650 до 670нм, Р <10мВт.).

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ)

СЭМ-изображения были получены на аналитическом сканирующем электронном микроскопе TESCAN MIRA с энергодисперсионным микрозондом (TESCAN, Чехия) в широком диапазоне увеличений от 2 до 1000000 крат. Измерения проводились при ускоряющем напряжении 20 кВ, токе пучка 1400 рА и рабочем расстоянии 10 мм в условиях высокого вакуума (10 $^{-4}$ Па).

Исходными сырьевыми материалами для получения образцов служили тугоплавкая глина Кемертузского месторождения, что находится в 120 км от г. Павлодара и зола-уноса с Павлодарской ТЭЦ-1 и Аксуской ГРЭС-1. Исходное глинистое сырье по огнеупорности и по содержанию оксида Al_2O_3 (таблица 1), согласно ГОСТ 9169–2021 [12], относится к группе тугоплавких и полукислых видов глин. Зола-уноса, согласно ГОСТ 25818–2017 [10], относится к типу кислых зол, что подтверждается содержанием основного оксида кальция, содержание которого в золе составляет до 10 % масс. (таблица 1).

Начальным этапом работы была стадия подготовки сырьевых материалов, где исходное глинистое сырье и зола-уноса проходили стадии измельчения на планетарной мельнице YXQM-1L, где глина измельчалась до прохода через сито размером 40 мкм, а исходная зола-уноса – 20 мкм. После стадии измельчения и прохождения через ситовый анализатор ZDS-200 исходные сырьевые материалы смешивались в различных пропорциях в зависимости от общей массы сырья. Аналогом служила проба из 100% массы глинистого сырья. Далее глина отбиралась в количестве от 90 до 70%, которая служила связующим агентом в растворе. Содержание исходной золы-уноса же, которая является добавкой в растворе, составляла от 10 до 30% от общей массы загружаемого сырья.

Подготовленная масса увлажнялась водой, объем которой составлял 15-20 мл. Образцы прессовали по полусухому методу прессования. Композиционные материалы получали в виде таблеток и цилиндров, которые прессовались на гидравлическом прессе AutoMeister 20т T0901F, сила прессования которой составляла 1,5 т. После процесса прессования полученные образцы проходили стадии естественной сушки, если была необходимость, то образцы проходили стадии искусственной сушки в сушильном шкафу до 100 ^0C.

Следующим этапом данной научной работы был обжиг композиционных материалов. Полученные образцы в виде таблеток и цилиндров разделили на 3 части и, поместив в капсели, проводили процесс обжига при 1000–1100 ^{0}C с шагом в 50 ^{0}C. Процесс обжига проводили 10 часов с выдержкой 2 часа при максимальной температуре обжига материалов.

После процесса обжига обожженные образцы проходили через следующую стадию определения физико-механических свойств обожженных композиционных материалов, где в лабораторных условиях определялись основные физико-механические свойства керамических материалов:

- воздушная и огневая усадки;
- водопоглощение;
- огнеупорность;
- прочность на сжатие.

Результаты и обсуждение. Результаты полученных физико-механических свойств обожженных образцов керамических материалов представлены в таблице 1. Как видно из таблицы 1, глина с содержанием 100% служит эталоном для образцов с добавкой золы-уноса.

Таблица 1 - Результаты физико-механических свойств керамических материалов

Шифр состава	**Планируемый фазовый состав, %**		**Температура обжига, ^{o}C**	**Свойства**	
	глина	добавки		водопоглощение, %	прочность на сжатие, МПа
1	100	0	1000	12,8	74,4
			1050	12,0	65,7
			1100	10,6	103,1
3	**90**	**10 (зола)**	1000	13,0	61,7
			1050	12,0	90,2
			1100	11,6	125,6
4	**80**	**20 (зола)**	1000	13,8	51,8
			1050	12,1	68,3
			1100	11,6	81,6
5	**70**	**30 (зола)**	1000	14,4	59,2
			1050	12,7	63,7
			1100	13,2	75,5

На рисунках 7-8 показаны графические результаты показателей водопоглощения и прочностные свойства обожженных образцов керамических материалов на основе золы-уноса. Как

видно из рисунка 7 показатели водопоглощения при увеличении температуры обжига образцов уменьшаются.

Однако, стоит отметить, что при увеличении концентраций золы-уноса в составах от 10 до 30%, показатели водопоглощения заметно увеличиваются. Выполнив анализ графиков изменения прочностных свойств образцов керамических материалов при концентрациях от 10 до 30% из рисунка 8 видно, что показатели прочности при сжатии образцов значительно уменьшаются, что в конечном итоге влияет на качество получаемого керамического материала. Поэтому можно сделать вывод, что керамическая масса состава «глина-зола» концентрации 90:10% является оптимальным составом для приготовления образцов керамических материалов.

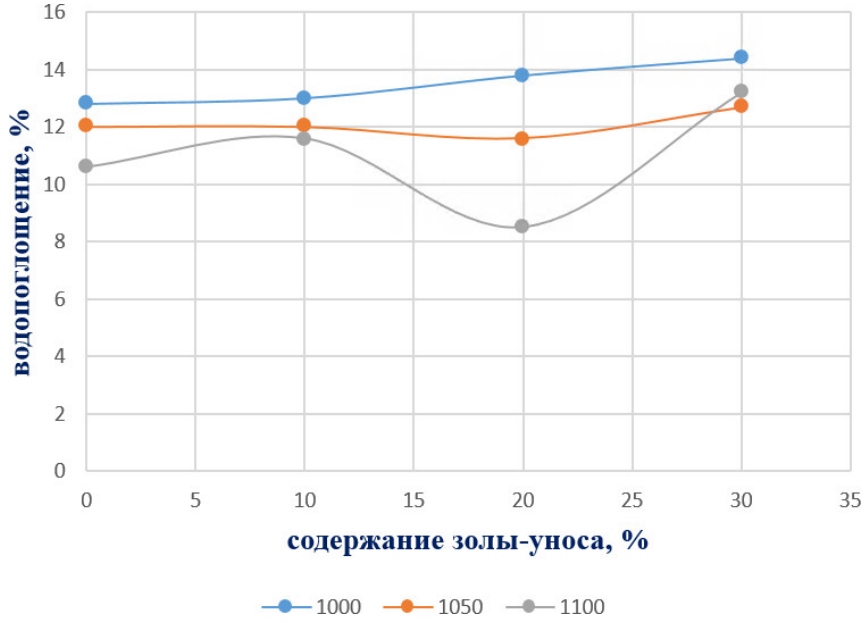


Рис.7 - Показатели водопоглощения обожженных образцов на основе золы-уноса

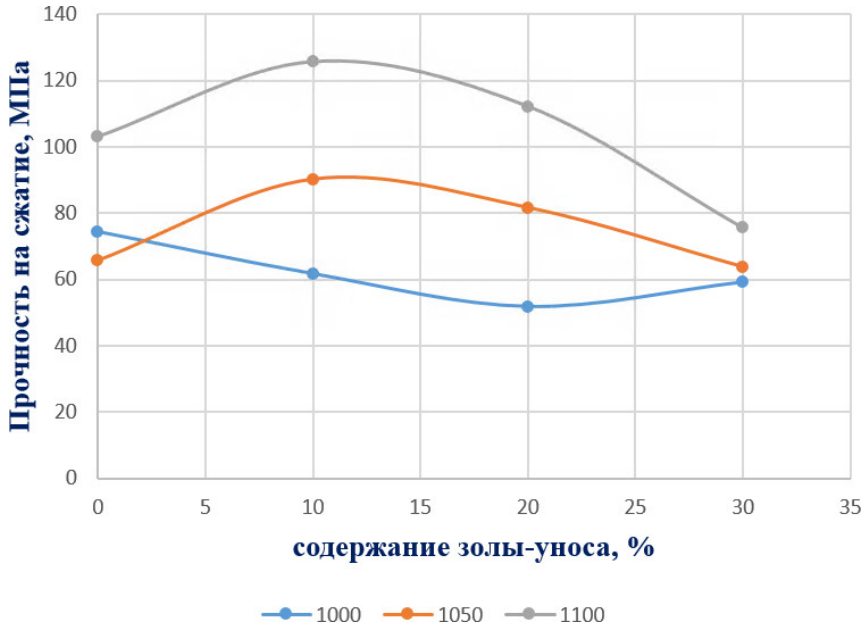


Рис.8 - Показатели прочности при сжатии образцов на основе золы-уноса

Результаты анализа химического состава образцов используемого минерального сырья представлены в таблице 2. Соответствующие образцам спектры инфракрасного нарушенного полного внутреннего отражения представлены на рисунке 9. Как видно из таблицы 2, образцы изученной золы ГРЭС, золы ТЭЦ 1 и глины имеют преимущественно алюмосиликатный состав.

Условные обозначения: ППП – потери при прокаливании.

Таблица 2 - Химический состав образцов используемого минерального сырья (в мас.%)

Наименование образца	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	NiO	ППП[1]
Зола ГРЭС	58,62	1,19	27,92	3,86	0,07	0,37	1,04	0,40	0,55	0,37	0,01	4,00
Зола ТЭЦ 1	51,93	1,14	25,98	11,84	0,23	0,77	2,15	0,55	0,44	0,46	0,01	2,72
Глина	58,71	1,46	21,91	3,72	0,02	0,46	1,28	0,26	0,92	0,05	0,01	8,80

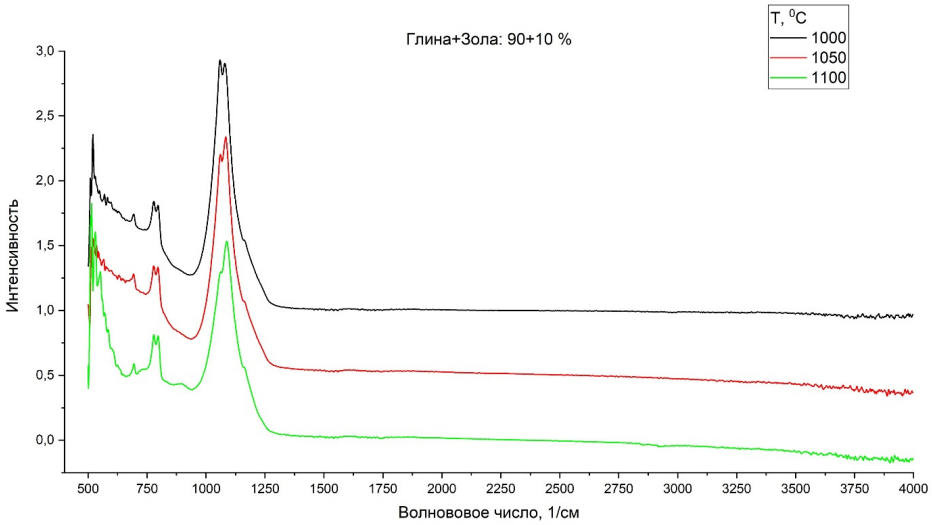


Рис.9 - Ик-спектры смеси «глина-зола» состава 90/10%

На полученных ИК спектрах исследуемых образцов (рисунок 9) отмечается широкая интенсивная полоса поглощения 950-1100 $см^{-1}$, которая обусловлена валентными колебаниями Al–O–Si и Si–O–Si [13-15], тогда как пики в интервале 670-690 $см^{-1}$ соответствуют симметричному валентному колебанию Si–O [16].

ИК-спектры проб регистрировали на ИК-Фурье спектрометре ФТ-805 производства Симекс. Спектрометр был оборудован приставкой нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) с кристаллом селенида цинка. Измерения проводили в режиме накопления с числом сканов не менее 50. Спектральный диапазон составлял от 500 до 4000 $см^{-1}$ с шагом 4 $см^{-1}$. Перед каждым измерением образцов проводили оценку фонового спектра приставки. Затем на поверхность кристалла помещали порошковую пробу под высоким давлением. После каждого снятия спектра образца кристалл очищали смоченной в ацетоне ватой. Интерпретация наблюдаемых полос ИК-Фурье спектроскопии проводилась на основе представленных данных [17, 18, 19].

В случае смесей «тугоплавкая глина+зола-уноса» составов 90:10%, 80:20%, 70:30% (рису-

нок 9-11) наблюдаются следующие максимумы поглощения в диапазонах от 650 до 1200 $см^{-1}$ и в диапазоне от 3600 до 4000 $см^{-1}$. В области 3600-4000 $см^{-1}$, наблюдаются невыраженные полосы на уровне шума, что говорит о практически полной дегидратации кристаллической структуры исходной глины в ходе температурной обработки. В диапазонах от 650 до 1200 $см^{-1}$ наблюдаются полосы поглощения в зависимости от состава смесей, которые можно отнести согласно литературным данным к характерным для колебания связи Si-O в тетраэдрах SiO_4 и связи Al-O (как в тетраэдрах AlO_4 , так и в октаэдрах AlO_6). В силу схожего физико-химического состава золы к составу глины, общий характер изменений полос поглощения в целом соответствует чистой обожжённой глине, также наблюдается сдвиг полос 1057-1087 $см^{-1}$ в область 1058-1080 или 1058-1083 в зависимости от добавки золы. В целом, в диапазоне от 650-1200 $см^{-1}$, по мере повышения температуры обжига, наблюдается снижение интенсивности ряда полос наблюдается снижение интенсивности ряда полос 693, 893, 954 $см^{-1}$, а также сдвиг полос поглощения 1058-1087, что свидетельствует об изменении кристаллической структуры и частичной аморфизации оксида кремния.

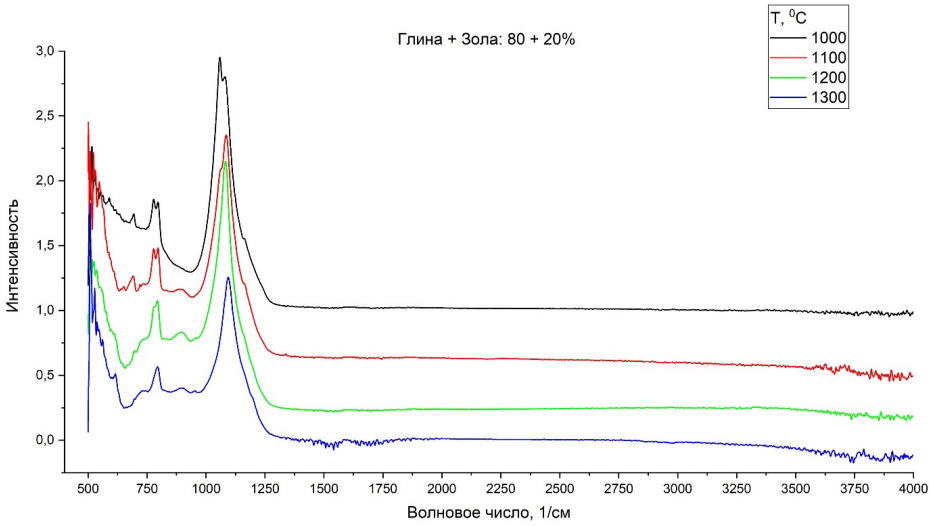


Рис.10 - Ик-спектры смеси «глина-зола» состава 80/20%

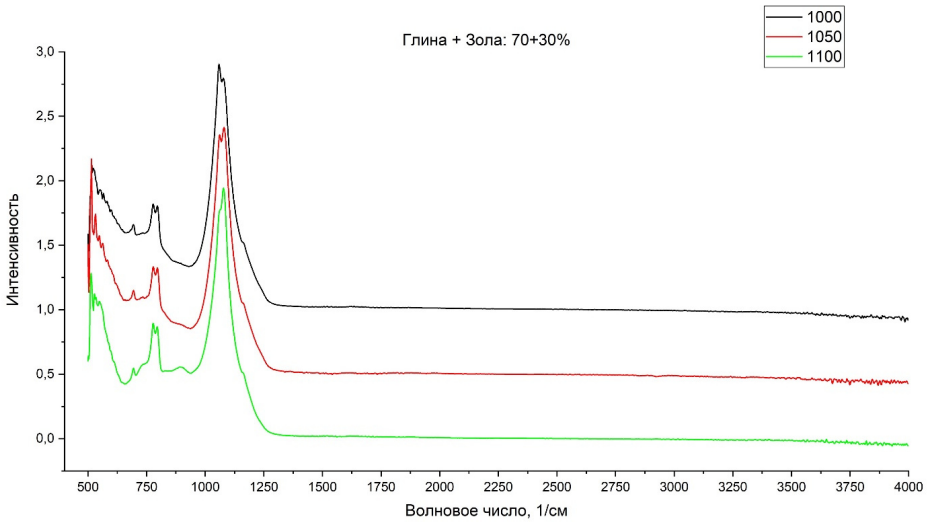


Рис.11 - Ик-спектры смеси «глина-зола» состава 70/30%

Выводы. Выполнив физико-химический анализ сырьевых материалов образцов керамических материалов глинистого сырья и золы-уноса с ТЭЦ и ГРЭС выявлено, что высокое содержание SiO_2 в двух видах золы указывает на возможность ее использования в производстве силикатных строительных материалов, а также строительной керамики. Помимо высокого содержания оксидов Al_2O_3 и SiO_2, образцы золы отличаются низким содержанием CaO (менее 2,2 %). Золу ТЭЦ-1 отличает сравнительно большое содержание Fe_2O_3 (11,84 %) в сравнении с золой ГРЭС, что обусловлено различиями процессов горения, источников и составов сжигаемого угля. Результаты физико-механических свойств образцов керамических материалов, полученных на основе золы-уноса с различными комбинациями показали возможность определиться с оптимальными составами керамических масс. На основе анализов полученных физико-механических свойств составы смеси «глина-зола-уноса» в соотношении 90:10% являются оптимальным составом керамической массы для получения образцов керамических изделий.

Финансирование. *Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант AP23486826 «Разработка композиционных керамических материалов на основе техногенных отходов»).*

Литература

1. Тлеуов А. А., Нишанова З. Н., Колесников А. С., Макулбекова Г. О. Золошлаки тепло-электро станций как опасные отходы техносферы // Качественное экологическое образование и инновационная деятельность - основа прогресса и устойчивого развития: Сборник статей VII международной научно-практической конференции, Саратов, 28-30 марта 2024 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, 2024. - С.238-242

2. Гусев Е.В., Сергиенкова А.А.,Таламаев Д. С. Использование золоотвалов ТЭС в производстве стеновой глинозольной керамики // Развитие методов прикладной математики для решения междисциплинарных проблем энергетики : Материалы I Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Ульяновск, 06-07 октября 2021 года. - Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2021. - С.124-129.

3. Казахстан откатился назад в вопросах переработки промышленных отходов.2024 URL https://energyprom.kz. - Дата обращения: 15.07.2025

4. Нурпеисова М. Б., Естемесов З. А., Бек А. А., Жунусова Г. Е. Использование вторичного сырья в производстве строительных материалов // Труды университета. - 2024. - № 2(95). - С.114-122. DOI 10.52209/1609-1825_2024_2_114.

5. Голдаева А.В., Дидоренко А.А., Шахов С.А. Экологические аспекты применения золы от сжигания осадка сточных вод в производстве стеновой керамики // Химия и жизнь: Сборник XVIII Международной научно-практической студенческой конференции, Новосибирск, 16 мая 2019 года. - Новосибирск: Издательский Центр ”Золотой колос”, 2019. - С. 234-237.

6. Лохова Н.А., Н. Боева В.С., Либеровская В. Микропоризованные керамические стеновые изделия на основе пыли газоочистки производства ферросплавов / Н.А. Лохова, // Системы. Методы.Технологии. -2012. - № 3(15). - С.114 -118.

7. Нурпеисова М. Б., Естемесов З. А., Федотенко Н. А., Габбасов С. Г. Технология утилизации и использования золошлаковых отходов для обеспечения экологической безопасности региона // Устойчивое развитие горных территорий. - 2023.-Т.15(3) 3(57).-С.631-639. DOI 10.21177/1998-4502-2023-15-3-631-639.

8. Беккалиев, Н. М., Шакешев, Б. Т., Чумаченко, Н. Г. Использование вторичных ресурсов для производства строительных материалов // Вестник Западно-Казахстанского инновационно-технологического университета. - 2021. - Т.19(3). - С.10-13.

9. Такибай Ш. Т., Саканов К.Т., Данзандорж С. Влияния разновидной зерновой состав золы ТЭС для формирования структуры и прочности газобетона // Наука и техника Казахстана. - 2019. - № 4. - С.42-49.

10. ГОСТ 25818–2017 Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия. Взамен ГОСТ 25818-91. Дата введения в действие: 01.03.2018. - М.:Межгосударствен- ный стандарт. Стандартинформ, 2017. https://www.status-grunt.ru/upload/bases/26.pdf.- Дата обращения: 15.07.2025

11. Толегенов Д.Т., Елубай М.А., Кулумбаев, Н. К. [и др.] Определение технологических свойств техногенных отходов предприятий энергетики и металлургии Павлодарского региона // Наука и техника Казахстана. - 2022. - № 1. - С.208-219. DOI 10.48081/IHOZ7105.

12. ГОСТ 9169-2021. Сырье глинистое для керамической промышленности. Классификация. – Взамен ГОСТ 9169-75: Дата введения в действие: 01.04.2022. - М.: Межгосударственный стандарт. Российский институт стандартизации. - 2021. https://internet-law.ru/gosts/gost/75778/.- Дата обращения: 15.07.2025.

13. Zhang W., Dong C., Huang P., Sun Q., Li M., Chai J. Experimental study on the characteristics of activated coal gangue and coal gangue-based geopolymer// Energies. - 2020.- Vol.13(10):2504. DOI 10.3390/en13102504.

14 Kasprzhitskii A., Lazorenko G., Khater A., Yavna V. Mid-Infrared Spectroscopic Assessment of Plasticity Characteristics of Clay Soils// Minerals. - 2018.-Vol.8(5):184. DOI 10.3390/min8050184.

15. Lazorenko G., Kasprzhitskii A., Yavna V. Comparative Study of the Hydrophobicity of Organo-Montmorillonite Modified with Cationic Amphoteric and Nonionic Surfactants//Minerals. - 2020.- Vol.10(9): 732. DOI 10.3390/min10090732.

16. Sun Z., Wang X., Jia S., Liang J., Ning X., Li C. Fabrication of pollution-free coal gangue-based catalytic material utilizing ferrous chloride as activator for efficient peroxymonosulfate activation //Int. J. Coal Sci. Technol. -2024.- 11(1). DOI 10.1007/s40789-023-00659-5.

17. Chukanov, N. V., Chervonnyi, A. D. Infrared spectroscopy of minerals and related compounds// Springer. - 2016. - DOI: 10.1007/978-3-319-25349-7.

18 Madejová, J., Gates, W. P., Petit, S. Chapter 5- IR spectra of clay minerals // Developments in clay science. - 2017.-Vol.8.- P. 107-149. DOI 10.1016/B978-0-08-100355-8.00005-9.

19. База данных ПО «Zair 3.5.», Симекс, Новосибирск. – https://old.simex-ftir.ru/product_1.html

References

1. Tleuov A. A., Nishanova Z. N., Kolesnikov A. S., Makulbekova G. O. Zoloshlaki teplo-jelektro stancij kak opasnye othody tehnosfery // Kachestvennoe jekologicheskoe obrazovanie i innovacionnaja dejatel’ nost’ - osnova progressa i ustojchivogo razvitija: Sbornik statej VII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Saratov, 28-30 marta 2024 goda. – Saratov: Saratovskij gosudarstvennyj universitet genetiki, biotehnologii i inzhenerii im. N.I. Vavilova, 2024. - S.238-242. [in Russian]

2. Gusev E.V., Sergienkova A.A.,Talamaev D. S. Ispol’ zovanie zolootvalov TJeS v proizvodstve stenovoj glinozol’ noj keramiki // Razvitie metodov prikladnoj matematiki dlja reshenija mezhdisciplinarnyh problem jenergetiki : Materialy I Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoj konferencii s mezhdunarodnym

uchastiem, Ul’ janovsk, 06-07 oktjabrja 2021 goda. - Ul’ janovsk: Ul’ janovskij gosudarstvennyj tehnicheskij universitet, 2021. - S.124-129. [in Russian]

3. Kazahstan otkatilsja nazad v voprosah pererabotki promyshlennyh othodov.2024 URL https://energyprom.kz/articles-ru/industries-ru/kazahstan-otkatilsya-nazad-v-voprosah-pererabotki-promyshlennyh-othodov/. - Data obrashhenija: 15.07.2025. [in Russian]

4. Nurpeisova M. B., Estemesov Z. A., Bek A. A., Zhunusova G. E. Ispol’ zovanie vtorichnogo syr’ ja v proizvodstve stroitel’ nyh materialov // Trudy universiteta. - 2024. - № 2(95). - S.114-122. DOI 10.52209/1609-1825_2024_2_114. [in Russian]

5. Goldaeva A.V., Didorenko A.A., Shahov S.A. Jekologicheskie aspekty primenenija zoly ot szhiganija osadka stochnyh vod v proizvodstve stenovoj keramiki // Himija i zhizn’: Sbornik XVIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj studencheskoj konferencii, Novosibirsk, 16 maja 2019 goda. - Novosibirsk: Izdatel’ skij Centr ”Zolotoj kolos”, 2019. - S.234-237. [in Russian]

6. Lohova N.A., N. Boeva V.S., Liberovskaja V. Mikroporizovannye keramicheskie stenovye izdelija na osnove pyli gazoochistki proizvodstva ferrosplavov / N.A. Lohova, // Sistemy. Metody.Tehnologii. -2012. - № 3(15). - S.114 -118. [in Russian]

7. Nurpeisova M. B., Estemesov Z. A., Fedotenko N. A., Gabbasov S. G. Tehnologija utilizacii i ispol’ zovanija zoloshlakovyh othodov dlja obespechenija jekologicheskoj bezopasnosti regiona // Ustojchivoe razvitie gornyh territorij. -2023.-T.15(3) 3(57) .-S. 631-639. DOI 10.21177/1998-4502-2023-15-3-631-639. [in Russian]

8. Bekkaliev, N. M., Shakeshev, B. T., Chumachenko, N. G. Ispol’ zovanie vtorichnyh resursov dlja proizvodstva stroitel’ nyh materialov // Vestnik Zapadno-Kazahstanskogo innovacionno-tehnologicheskogo universiteta. - 2021. - T.19(3). -S.10-13. [in Russian]

9. Takibaj Sh. T., Sakanov K.T., Danzandorzh S. Vlijanija raznovidnoj zernovoj sostav zoly TJeS dlja formirovanija struktury i prochnosti gazobetona // Nauka i tehnika Kazahstana. - 2019. - № 4. - S.42-49. [in Russian]

10. GOST 25818–2017 Zoly-unosa teplovyh jelektrostancij dlja betonov. Tehnicheskie uslovija. Vzamen GOST 25818-91. Data vvedenija v dejstvie: 01.03.2018. - M.: Mezhgosudarstven- nyj standart. Standartinform, 2017. https://www.status-grunt.ru/upload/bases/26.pdf.- Data obrashhenija: 15.07.2025. [in Russian]

11. Tolegenov D.T., Elubaj M.A., Kulumbaev, N. K. [i dr.] Opredelenie tehnologicheskih svojstv tehnogennyh othodov predprijatij jenergetiki i metallurgii Pavlodarskogo regiona // Nauka i tehnika Kazahstana. - 2022. - № 1. - S.208-219. DOI 10.48081/IHOZ7105. [in Russian]

12. GOST 9169-2021. Syr’ e glinistoe dlja keramicheskoj promyshlennosti. Klassifikacija. – Vzamen GOST 9169-75: Data vvedenija v dejstvie: 01.04.2022. - M.: Mezhgosudarstvennyj standart. Rossijskij institut standartizacii. - 2021. [in Russian]

13. Zhang W., Dong C., Huang P., Sun Q., Li M., Chai J. Experimental study on the characteristics of activated coal gangue and coal gangue-based geopolymer// Energies. - 2020.- Vol.13(10):2504. DOI 10.3390/en13102504.

14 Kasprzhitskii A., Lazorenko G., Khater A., Yavna V. Mid-Infrared Spectroscopic Assessment of Plasticity Characteristics of Clay Soils// Minerals. - 2018.-Vol.8(5):184. DOI 10.3390/min8050184.

15. Lazorenko G., Kasprzhitskii A., Yavna V. Comparative Study of the Hydrophobicity of Organo-Montmorillonite Modified with Cationic Amphoteric and Nonionic Surfactants//Minerals. - 2020.-Vol.10(9): 732. DOI 10.3390/min10090732.

16. Sun Z., Wang X., Jia S., Liang J., Ning X., Li C. Fabrication of pollution-free coal gangue-based catalytic material utilizing ferrous chloride as activator for efficient peroxymonosulfate activation //Int. J. Coal Sci. Technol. -2024.- 11(1). DOI 10.1007/s40789-023-00659-5.

17. Chukanov, N. V., Chervonnyi, A. D. Infrared spectroscopy of minerals and related compounds// Springer. - 2016. - DOI:10.1007/978-3-319-25349-7.

18 Madejová, J., Gates, W. P., Petit, S. Chapter 5- IR spectra of clay minerals // Developments in clay science. - 2017.-Vol.8.- P. 107-149. DOI 10.1016/B978-0-08-100355-8.00005-9.

19. Baza dannyh PO «Zair 3.5.», Simeks, Novosibirsk. – https://old.simex-ftir.ru/product_1.html. [in Russian]

Сведения об авторах

Маусумбаев С.- докторант, НАО «Торайгыров университет», Павлодар, Казахстан, e-mail: sabit_mausumbaev@mail.ru;

Елубай М.- кандидат химических наук, профессор, НАО «Торайгыров университет», Павлодар, Казахстан, e-mail: yelubay.m@tou.edu.kz;

Толегенов Д.- научный сотрудник, НАО «Торайгыров университет», Павлодар, Казахстан, e-mail: www.dika-92@mail.ru;

Масакбаева С.- кандидат химических наук, НАО «Торайгыров университет», Павлодар, Казахстан, e-mail: sofochka184@mail.ru;

Айткалиева Г.- доктор PhD, ассоциированный профессор, НАО «Сатпаев университет», Алматы, Казахстан, e-mail: gulzat_slyashevna@mail.ru.

Information about the authors

Maussumbayev S.- Doctoral student, ”Toraigyrov University” NCJSC, Pavlodar, Kazakhstan, e-mail: sabit_mausumbaev@mail.ru;

Yelubay M. - Candidate of Chemical Science, Professor, Toraighyrov University NCJSC, Pavlodar, Kazakhstan, e-mail: yelubay.m@tou.edu.kz;

Tolegenov D. - researcher, Toraighyrov University NCJSC, Pavlodar, Kazakhstan, e-mail: www.dika-92@mail.ru

Masakbayeva S. - Candidate of Chemical Sciences, Toraighyrov University NCJSC, Pavlodar, Kazakhstan, e-mail: sofochka184@mail.ru;

Aitkaliyeva G. - doctor PhD, associate professor Satpayev University NCJSC, Almaty, Kazakhstan, e-mail: gulzat_slyashevna@mail.ru.

IRSTI 52.13.07 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1065**

THERMAL AND CRYOGENIC FRACTURE INTERACTIONS IN GRANITE: FRACTURE TOUGHNESS TESTS FOR GEOTHERMAL DEVELOPMENT

[1]D.T. Begaliyev, [1]N.M. Zhumagaliyev, [1]A.S. Kupeshova, [2]A.T. Zholbasarova, [1]A.B. Kydrashov, [1]B.Zh. Burkhanov, [3]A.R. Abdiev

[1]NJSC "West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan",Uralsk, Kazakhstan,
[2]NJSC "Caspian State University of Technologies and Engineering named after S.Yessenov", Aktau, Kazakhstan,
[3]Kyrgyz Mining and Metallurgical Institute named after academician U. Asanaliev, Bishkek, Kyrgyzstan

Corresponding authors: dastan.begaliyev@wkau.kz, a.kydrashov@mail.ru

The use of liquid nitrogen (LN_2) as a freezing agent has been shown to help enhance the permeability of the rock, making it easier for fluids to pass through, which improves how much water or steam can flow from the reservoir. This is especially useful in Hot Dry Rock (HDR) systems. This study looks at how exposing granite to low temperatures affects its strength after it has been cooled down after being heated. Fracture Toughness Tests were done on granite samples after they were first baked at different temperatures from 100 °C to 400 °C before being quickly cooled with LN_2 to copy what happens when something gets suddenly cooled quickly.

The tested granite samples were taken from a place that is around 50 km away from Astana, in the Akmola region of Kazakhstan. Experimental measurements helped find important mechanical values like the maximum load the sample could handle, how much stress builds up at the tip of the crack, and how much energy it takes to make the sample break. The results show that using liquid nitrogen makes it much easier for cracks to start and spread in the sample, and doing LN_2 treatment at higher pre-treatment temperatures makes it happen even faster. A consistent decrease in both the stress intensity factor and fracture energy as the temperature went up could be seen. These findings show that using LN_2 to freeze and crack the rocks can be a useful way to help boost the flow of geothermal energy from certain types of hard rocks.

Keywords: geothermal energy, Kazakhstan, cryogenic fracturing, liquid nitrogen, fracture toughness test, intensity factor, fracture energy, granite, HDR(hot dry rocks).

ГРАНИТТЕГІ ТЕРМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ КРИОГЕНДІК СЫНЫҚТАРДЫҢ ӨЗАРА ӘРЕКЕТТЕСУІ: ГЕОТЕРМИЯЛЫҚ ДАМУҒА АРНАЛҒАН СЫНЫҚТАРДЫҢ БЕРІКТІГІН СЫНАУ

[1]Д.Т. Бегалиев, [1]Н.М. Жумагалиева, [1]А.С. Купешова, [2]А.Т. Жолбасарова, [1]А.Б. Кыдрашов, [1]Б.Ж. Бурханов, [3]А.Р. Абдиев

[1]«Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КеАҚ ,Орал, Қазақстан,
[2]«Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті» КеАҚ, Ақтау, Қазақстан,
[3]Академик У. Асаналиев атындағы Қырғыз тау-кен металлургиялық институты, Бішкек, Қырғызстан,
e-mail: dastan.begaliyev@wkau.kz, a.kydrashov@mail.ru

Сұйық азотты (LN_2) мұздату агенті ретінде пайдалану геотермалды потенциалы бар тау жыныстарының өткізгіштігін арттыруға көмектесетіні дәлелденді. Бұл сұйықтықтардың өтуін жеңілдетеді және сол арқылы жер асты резервуарларынан су немесе бу шығу мүмкіндігін жақсартады. Ондай тау жыныстары әдетте ыстық құрғақ күйде болады (hot dry rock, HDR). Бұл зерттеу гранитті қыздырып, оны сұйық азотпен тез арада салқындатудан кейін оның беріктігіне қалай әсер ететінін қарастырады. Бұл жүргізілген сынақтар 100 °C-тан 400 °C-қа дейінгі әртүрлі температурада қыздырылған граниттерді қамтыды.

Сыналған гранит үлгілері Астанадан шамамен 50 км қашықтықта, Қазақстанның Ақмола облысында орналасқан жерден алынды. Эксперименттік өлшеулер гранит тастарының көтере алатын максималды жүктеуін, жарықшақтың ұшында қанша қысым жиналатыны және үлгіні бұзу үшін

қанша энергия қажет болатыны сияқты маңызды механикалық мәндерді табуға көмектесті. Нәтижелер сұйық азотты пайдалану гранит тастарындағы жарықтардың пайда болуын және таралуын айтарлықтай жеңілдететінін, ал өңдеуге дейінгі жоғарырақ температурада қыздырылуы және сұйық азотқа батырылуы оны одан да жылдамырақ ететінін көрсетеді. Температура көтерілген сайын қысым қарқындылығы факторының да, сыну энергиясының да тұрақты төмендеуін байқауға болады. Бұл нәтижелер құрғақ ыстық тау жыныстарын мұздату және жару үшін LN_2 пайдалану қатты жыныстардың белгілі бір түрлерінен геотермалдық энергия ағынын арттырудың пайдалы әдісі болуы мүмкін екенін көрсетеді.

Түйін сөздер: геотермалды энергия, Қазақстан, криогендік жару, сұйық азот, жарықшаққа төзімділік сынағы, қарқындылық коэффициенті, жарықшақ энергиясы, гранит, HDR (құрғақ ыстық жыныстар).

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО И КРИОГЕННОГО РАЗРУШЕНИЯ ГРАНИТА: ИСПЫТАНИЯ НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

[1]Д.Т. Бегалиев✉, [1]Н.М. Жумагалиева, [1]А.С. Купешова, [2]А.Т. Жолбасарова, [1]А.Б. Кыдрашов✉, [1]Б.Ж. Бурханов, [3]А.Р. Абдиев

[1]НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана», Уральск, Казахстан,
[2]НАО «Каспийский университет технологии и инжиниринга им. Ш.Есенова»,Актау, Казахстан,
[3]Кыргызский горно-металлургический институт им. академика У.Асаналиева ,Бишкек, Кыргызстан,
e-mail: dastan.begaliyev@wkau.kz, a.kydrashov@mail.ru

Было доказано, что использование жидкого азота (LN_2) в качестве замораживающего агента помогает повысить проницаемость породы, облегчая прохождение жидкостей, что позволяет увеличить объем воды или пара, которые могут вытекать из резервуара. Это особенно полезно для горячих сухих горных пород (hot dry rock, HDR). В этом исследовании рассматривается влияние воздействия низких температур на прочность гранита после его охлаждения после нагрева. Испытания на трещиностойкость были проведены на образцах гранита после того, как они были сначала нагреты при различных температурах от 100 °C до 400 °C, а затем быстро охлаждены с помощью LN_2, чтобы воспроизвести термошок, когда что-то внезапно быстро охлаждается.

Протестированные образцы гранита были взяты из места, расположенного примерно в 50 км от Астаны, в Акмолинской области Казахстана. Экспериментальные измерения помогли определить важные механические параметры, такие как максимальная нагрузка, которую может выдержать образец, величина напряжения, возникающего на вершине трещины, и количество энергии, затрачиваемой на разрушение образца. Результаты показывают, что использование жидкого азота значительно облегчает образование и распространение трещин в образце, а обработка LN_2 при более высоких температурах предварительной обработки позволяет сделать это еще быстрее. С повышением температуры наблюдалось последовательное снижение коэффициента интенсивности напряжений и энергии разрушения. Эти результаты показывают, что использование LN_2 для замораживания и растрескивания горных пород может быть полезным способом увеличения потока геотермальной энергии из определенных типов твердых пород.

Ключевые слова: геотермальная энергия, Казахстан, криогенный разрыв, жидкий азот, испытание на устойчивость к разрушению, коэффициент интенсивности напряжений, энергия разрушения, гранит, HDR (горячие сухие породы).

Introduction. With the world looking to reduce emissions and use environmentally friendly energy, geothermal power has become vital for making this happen. Interest has grown in Hot Dry Rock (HDR) formations due to their ability to provide temperatures that range from 150 °C to over

500°C at depths of around 5000-6000 meters [1-4]. Innovative though they are, HDR systems do not work as well for business purposes due to their naturally low ability to transfer heat. As a result, it is important to apply new stimulation methods to unleash all the advantages of these reservoirs [5-9].

One popular trend now uses liquid nitrogen (LN_2) in what is known as cryogenic fracturing. LN_2-based stimulation uses the low temperature and pressure conditions at -196 °C to quickly contract high-temperature rock. The heat shock leads to the development of many small fractures that aid the movement of fluids within the rock [10-14]. Unlike traditional hydraulic fracturing which can lead to chemical pollution and wastes a lot of water, LN_2 stimulation is both cleaner and more sustainable. The brittleness of granite at low temperatures allows it to form many fractures, contributing to the overall development of complex systems [15-20].

This research focuses on checking how granite from the Akmola region in Kazakhstan responds when it is subjected to cryogenic fracturing. For our experiment, granite samples were first heated to different high temperatures and rapidly cooled with liquid nitrogen. Then, the fracture toughness was tested to measure the thermal damage done. Cracking behavior was investigated by using fracture energy and mode I stress intensity factor at different thermal conditions. This study aims to find better, more environmentally friendly ways to stimulate wells by examining the effectiveness of using liquid nitrogen on HDR geothermal reservoirs.

Materials and methods. Granite samples were collected from rocks that stick out of the ground not far from Vyacheslavka in Akmola, Kazakhstan. For the fracture toughness tests, the samples were made into a semicircular shape, which can be seen in Figure 1. Prior to testing, all the specimens were dried out in an oven for about 24 hours at 50 degrees to get rid of any moisture on their surface. They were then put in a furnace and heated for two hours at 100, 200, and 400 degrees Celsius. After heating, the samples were lowered straight into a liquid nitrogen bath for an hour to simulate exposure to cryogenic temperatures (such as those used in space). To make sure there was no more moisture left, the samples were dried again at 50 C for an hour. The fracture toughness tests were then carried out with the GCTS UCT-1000 testing machine, which you can see on the right in Figure 1.

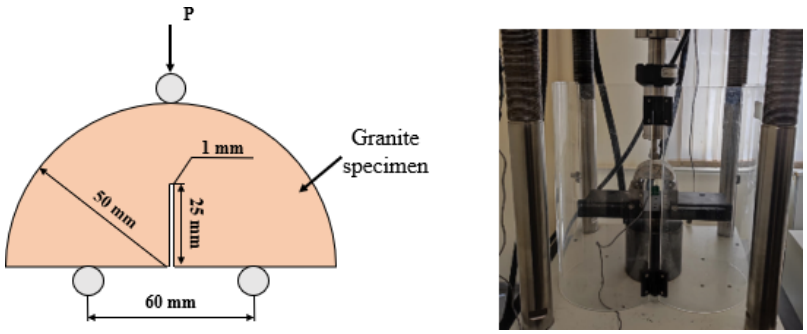


Fig.1 - Granite specimen dimensions and setup

Results and discussion. The graph in Figure 2 shows the results of fracture toughness tests done on granite after subjecting them to different hot and cold temperatures. The sample only treated at 50 °C acted as the reference, and the other samples were heated to 100 °C, 200 °C, and 400 °C before being frozen in liquid nitrogen for one hour. Each test was duplicated twice to improve the reliability of the data and cut down on measurement mistakes. The specimens without any treatment reached their highest peak load at 50 °C, while peak load in the others became lower with both thermal and cryogenic treatment. With temperatures going up during preheating, more and larger microcracking

was found. Elevated temperatures caused more damage to the material, which LN_2 only made worse, resulting in a drop in its ability to hold weight.

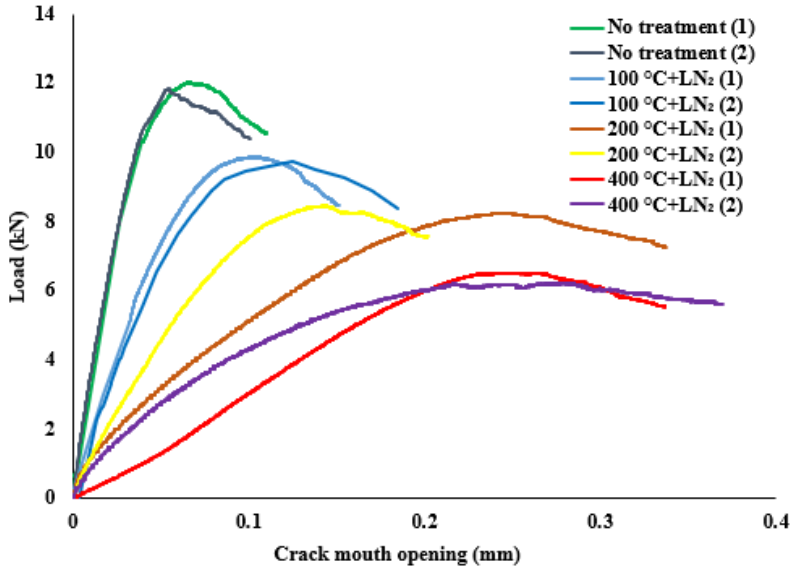


Fig.2 - Load vs crack mouth opening curves from fracture toughness tests

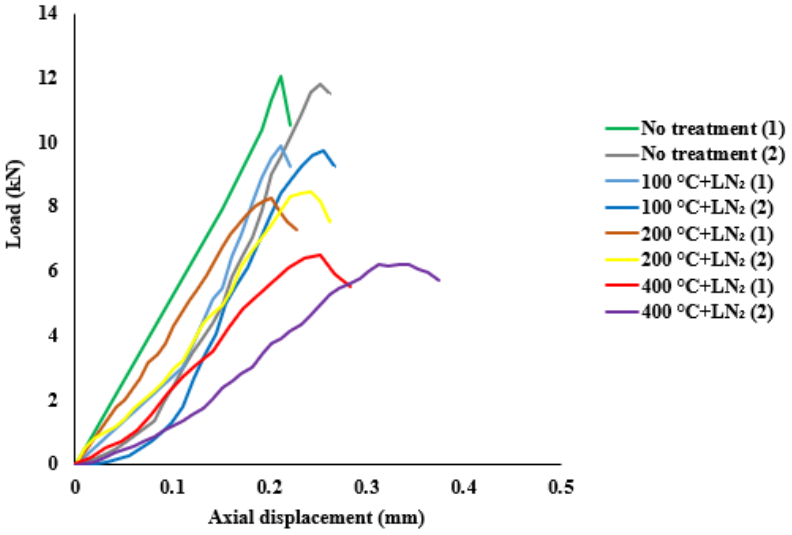


Fig.3 - Load vs axial displacement curves after fracture toughness tests

The same fracture toughness test samples showed the load-displacement curves that can be seen in Figure 3. The untreated samples at 50 C had the biggest strengths and could handle more pressure in the experiments, since their graphs showed steeper curves. In contrast, when samples were put through a mix of heat and freezing, they were less strong when stretched and moved more before breaking, especially in the samples that were heated up to 400°C and then cooled down with liquid nitrogen. This behavior shows that over time, the material gets weaker because of things like expansion when it gets hot, the development of tiny cracks, and shrinkage when it gets cold. As these effects add up,

the stone slowly gets softer and less sturdy, which then results in it being less able to hold up to tension.

The results of Figure 4 show the stress intensity factor results from fracture toughness tests, with each pre-treatment compared to the reference group preheated at 50 °C. When the pre-heating temperature is raised, the material strength is seen to decrease, indicated by a drop in peak stress intensity factors. In both experiments, the sharpest drop in the value of stress intensity factor was found under the 400 °C + LN_2 condition, with a value of 0.91 MPa·m$^{1\ \ 2}$. Cooling the granite rapidly using LN_2 after heating it to a high temperature turned out to be the best type of experiment for inflicting internal damage on the sample. Matching results between both experiments and the trend seen support the accuracy of the findings.

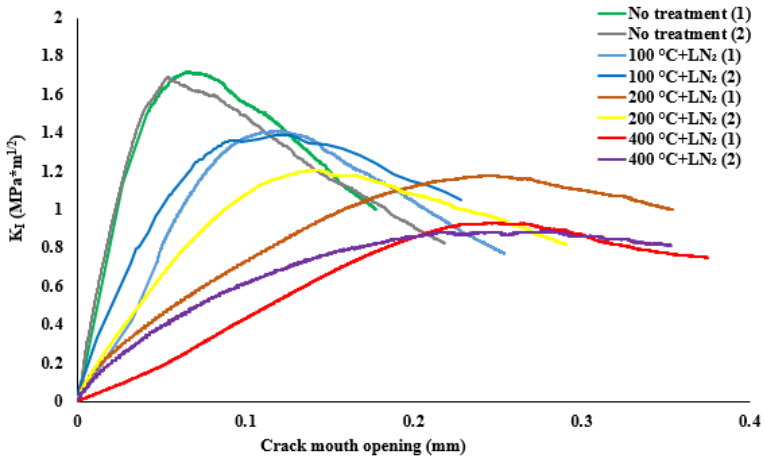


Fig.4 - Mode I stress intensity factor vs crack mouth opening curves after fracture toughness tests

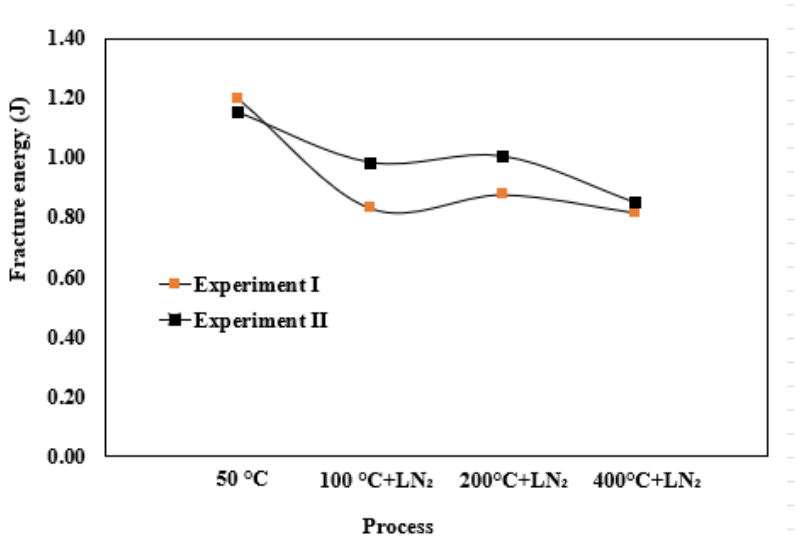


Fig.5 - Fracture energy vs process after fracture toughness tests

Figure 5 highlights the difference in mechanical behavior of granite when subjected to thermal and cryogenic loading, by using fracture energy as a measure. Fracture energy shows the total effort needed to break apart a sample of rock and is a sign of toughness. The best fracture-resistance was seen

in the granite samples preheated only to 50 °C, as they were still largely intact and without damage.

Fracture energy was reduced by an average of 0.906 J when the granite was heated at 100 °C and then quickly cooled with LN_2 in the first two experimental trials. It seems that when rocks go through a brief heating period and then a sudden, extreme cooling, it causes internal fractures that lower the strength of the rock. If thermal pre-treatment is made more severe, the material becomes more vulnerable to cracking and breaking. Compressive tests for samples treated at 200 °C and then exposed to LN_2 resulted in a fracture energy of 0.939 J, showing that the material had grown more fragile.

Among all cases, the ones heated at 400°C and cooled with LN_2 showed the lowest fracture energy of 0.831 J. The significant change from the reference condition means that major internal damage and a loss of bonding between materials occurred as a result of the thermal and cryogenic stress during the test. All in all, the results clearly show that higher preheat temperatures before LN_2 treatment result in considerably softer granite, proving the method's success in improving fracturing of rocks for geothermal use.

Table 1 displays the fracture toughness results of granite specimens put through different thermal shock conditions. Without any treatment, the K_I factor was measured at 1.71 MPa·m¹ ². Still, raising the temperature of the specimens and then suddenly lowering it with liquid nitrogen caused an obvious drop in their fracture toughness. There was a drop of 17.8% in the K_I value in both trials when the temperature was set to 100 °C and LN_2 was added. Significant decreases in content occurred at higher degrees of preheating. The first and second trials both saw decreases of 31.4% and 28.4% after using 200 °C + LN_2. Using 400 °C + LN_2 caused the most noticeable declines, with a change of 45.8% and 47.4% in trials 1 and 2, respectively. We clearly see a certain pattern in the results. A higher temperature during the preheating stage tends to bring down the fracture toughness of granite before it is treated with LN_2. The research confirms that the level of damage to rocks after LN_2 exposure increases along with the duration of preheating, showing a proper relationship between the damage caused by long-term exposure and high-temperature conditions.

Table 1 - Effect of increase in temperature along with LN_2 to the peak values of mode I intensity factor values

Specimen	Treatment	Peak value of KI	Stepwise Difference	Difference from Baseline	Average value of KI peaks
		(MPa*m$^{1/2}$)	(%)	(%)	(MPa*m$^{1/2}$)
1	No	1.72	-	-	1.71
2		1.69			
1	100+LN2	1.41	-17.8	-17.8	1.40
2		1.39	-17.7	-17.7	
1	200+LN2	1.18	-16.5	-31.4	1.19
2		1.21	-13.1	-28.4	
1	400+LN2	0.93	-21.0	-45.8	0.91
2		0.89	-26.5	-47.4	

Conclusion. Akmola granite samples were studied through an experimental process using liquid nitrogen (LN_2) temperatures to see how it affected preconditioned granite. The evaluation

involved carrying out fracture toughness tests, checking the load-displacement curve, and getting readings of the fracture energy and stress intensity factors. The key findings from the study are as follows:

- Preheating over 400 °C with LN_2 caused a continuous reduction in load-bearing, and the group with the highest preheated temperature showed the least ability to support a high load.

- When materials were pre-treated at higher temperatures along with liquid nitrogen, the amount of fracture energy they absorbed reduced. Combining heat and cryogenic cracking greatly reduced the amount of effort required to overcome the resistance of the granite.

- Calculations of K_I, a standard measure for toughness, revealed that LN_2 makes cracks grow more effectively at higher preheating temperatures.

- All of the samples proved to fail in the same qualitative way during treatment under LN_2, still variations were noticed in the fracture energy and toughness at different temperature levels.

The results taken together show that exposing granite to heat and flash-freezing it significantly reduces its strength, making it a useful strategy for helping break up rocks in geothermal energy production.

Funding. *This research was financially supported by Nazarbayev University (Funder Project Reference:021220CRP2022).*

I would like to express my sincere gratitude to Dr. Sotirios Longinos for his valuable guidance, support, and insightful suggestions throughout the course of this research.

References

1. McDaniel B.W., Grundmann S.R., Kendrick W.D., Wilson D.R., Jordan S.W. Field applications of cryogenic nitrogen as a hydraulic fracturing fluid // SPE annual technical conference and exhibition. Society of Petroleum Engineers. - 1997. DOI 10.2118/38623-MS.

2. Anderson R.L., Ratcliffe I., Greenwell H.C., Williams P.A., Cliffe S. and Coveney P.V. Clay swelling-a challenge in the oilfield // Earth-Science Reviews. - 2010. - Vol.98(3). - P.201-216. DOI 10.1016/j.earscirev.2009.11.003.

3. Longinos S.N. and Hazlett R. Cryogenic fracturing efficacy in granite rocks: Fracture toughness and brazilian test differences after elevated temperatures and liquid nitrogen exposure // Geoenergy Science and Engineering.- 2025.- Vol.244. -P.213436. DOI 10.1016/j.geoen.2024.213436.

4. Dai F. and Xia K.W., 2013. Laboratory measurements of the rate dependence of the fracture toughness anisotropy of Barre granite // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.- 2013. - Vol. 60. - P.57-65. DOI 10.1016/j.ijrmms.2012.12.035.

5. Longinos S.N., Skrzypacz P. and Hazlett R. Cryofracturing effectiveness using liquid nitrogen on granite: Fracture toughness and Brazilian tests following freezing-thawing cycle// Results in Engineering.- 2024. - Vol.21 (2): 101895. DOI 10.1016/j.rineng.2024.101895.

6. Zhuang D., Yin T., Li Q., Wu Y., Chen Y. and Yang Z.,. Fractal fracture toughness measurements of heat-treated granite using hydraulic fracturing under different injection flow rates // Theoretical and Applied Fracture Mechanics.- 2022.-Vol.119:103340. DOI 10.1016/j.tafmec.2022.103340.

7. Longinos S., Tuleugaliyev M., Begaliyev D. and Hazlett R., 2023. Effects of High Temperature and Liquid Nitrogen Cooling: A Case Study of granite rocks from Kazakhstan // CEST-18th International Conference on Environmental Science and Technology. – 2023. DOI 10.30955/gnc2023.00161.

8. Yang R., Hong C., Liu W., Wu X., Wang T., Huang Z. ”Non-contaminating cryogenic fluid access to high-temperature resources: Liquid nitrogen fracturing in a lab-scale Enhanced Geothermal System // Renewable Energy. -2021. - Vol.165. - P.125-138. DOI 10.1016/j.renene.2020.11.006.

9. Ishida T., Aoyagi K., Niwa T., Chen Y., Murata S., Chen Q., Nakayama Y. Acoustic emission monitoring of hydraulic fracturing laboratory experiment with supercritical and liquid CO_2 // Geophysical Research Letters. - 2012. - Vol.39(16): 16309. DOI 10.1029/2012GL052788.

10. Gallup D.L. Production engineering in geothermal technology: a review // Geothermics. - 2009. - Vol.38(3). - P.326–334. DOI 10.1016/j.geothermics.2009.03.001.

11. Begaliyev D. Laboratory investigation of cryofracturing potential to stimulate geothermal reservoirs in Kazakhstan / Doctoral dissertation, Nazarbayev University. - 2024.

12. Zhang D. and Tingyun Y. Environmental impacts of hydraulic fracturing in shale gas development in the United States // Petroleum Exploration and Development. - 2015. - Vol.42(6). - P.876-883. DOI 10.1016/S1876-3804(15)30085-9.

13. Yin T., Bai L., Li X., Li X. and Zhang, S. Effect of thermal treatment on the mode I fracture toughness of granite under dynamic and static coupling load // Engineering Fracture Mechanics. – 2018. -Vol. 199. - P.143-158. DOI 10.1016/j.engfracmech.2018.05.035.

14. Cai C., Huang Z., Li G., Gao F., Wei J. and Li R. Feasibility of reservoir fracturing stimulation with liquid nitrogen jet // Journal of Petroleum Science and Engineering. - 1016. -Vol.144. - P.59-65. DOI 10.1016/j.petrol.2016.02.033.

15. Longinos S.N., Begaliyev D. and Hazlett R. Experimental and simulation study of cryogenic stimulation of granites from Akmola region in Kazakhstan // Geomechanics for Energy and the Environment. - 2025. - Vol. 41. - P.100635. DOI 10.1016/j.gete.2024.100635.

16. Zhenlong G., Sun Q., Yang T., Luo T., Hailiang J., and Yang D. Effect of high temperature on mode-I fracture toughness of granite subjected to liquid nitrogen cooling //Engineering Fracture Mechanics. - 2021. - Vol.252:107834. DOI 10.1016/j.engfracmech.2021.107834.

17. Breede K., Dzebisashvili K., Liu X., Falcone G. A systematic review of enhanced (or engineered) geothermal systems: past, present and future//Geotherm Energy.- 2013.-Vol.11-4) - P.2-27.DOI 10.1186/2195-9706-1-4.

18. Ge Z., Sun Q., Xue L. and Yang T. The influence of microwave treatment on the mode I fracture toughness of granite// Engineering Fracture Mechanics.-2021.-Vol.249:107768. DOI 10.1016/j.engfracmech.2021.107768.

19. Longinos S.N. Pore structure analysis by mercury intrusion and nitrogen adsorption after LN2 treatment: An experimental study for granite rocks in ‘O’field, Kazakhstan // Geoenergy Science and Engineering. – 2025. – Vo.252. - P.213953. DOI 10.1016/j.geoen.2025.213953.

20. Zhang S. et al. Numerical and experimental analysis of hot dry rock fracturing stimulation with high-pressure abrasive liquid nitrogen jet // Journal of Petroleum Science and Engineering. - 2018. - Vol.163. - P.156-165. DOI 10.1016/j.petrol.2017.12.068.

Information about the authors

Begaliyev D.T.- NJSC “West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan”, master of technical sciences, Uralsk, Kazakhstan, dastan.begaliyev@wkau.kz;

Zhumagaliyeva N.M.- NJSC “West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan”, master of technical sciences, Uralsk, Kazakhstan, zhumagaliyeva.nurzhamal@inbox.ru;

Kupeshova A.S.- NJSC “West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan”, senior lecturer, Uralsk, Kazakhstan, kupeshova.altynay@mail.ru;

Zholbasarova A.T.- NJSC “Caspian State University of Technologies and Engineering named after S.Yessenov”, candidate of technical sciences, associate professor, Aktau, Kazakhstan, akshyryn.zholbassarova@yu.edu.kz;

Kydrashov A.B.- NJSC “West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan”, PhD doctor, associate professor, Uralsk, Kazakhstan, a.kydrashov@mail.ru;

Burkhanov B.Zh.- NJSC “West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan”, candidate of technical sciences, associate professor, Uralsk, Kazakhstan, aruka73@mail.ru;

Abdiev A.R.- Kyrgyz Mining and Metallurgical Institute named after academician U.Asanalieva, doctor of technical sciences, professor, Bishkek, Kyrgyzstan, arstanbek.abdiev@kstu.kg.

ҒТАМР 52.47.19 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1110**

ШТАНГАЛЫ СОРАПТАРМЕН ЖАБДЫҚТАЛҒАН ҰҢҒЫМАЛАРДЫҢ СОҢҒЫ ИГЕРУ САТЫСЫНДАҒЫ ЖҰМЫСЫН ДИАГНОСТИКАЛАУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ ӘДІСТЕМЕСІ

[1]М.Ж. Досжанов, [2]Ю.А. Нифонтов, [3]Ғ.Ж. Тасболат, [1]Е.Т. Қодар, [4]Н.С.Сүлейменов, [1]Л. Бисенбайқызы, [1]А.М. Төлегенова

[1]Қызылорда «Болашақ» университеті, Қызылорда, Қазақстан,
[2]Санкт-Петербург мемлекеттік теңіз техникалық университеті, Санкт-Петербург, Ресей,
[3]Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[4]Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан

Корреспондент-автор: galymzhan_zh@mail.ru

Ұңғымалық штангалы сорғы қондырғылары (ШСҚ) аз дебитті және жоғары сулы қабаттарды игеру кезінде кеңінен қолданылатын, мұнай ұңғымаларының сенімді және үнемді пайдалану жабдығы болып табылады. Штангалы сорғылар көмегімен мұнай өндіру – олардың қарапайымдылығы, тиімділігі және сенімділігімен түсіндірілетін жасанды көтерудің ең кең таралған әдістерінің бірі. Алайда ШСҚ пайдалану кезінде күрделі факторлар жиі туындайды: сорғының қабылдауында жоғары газ құрамы, айдалатын сұйықтықтағы механикалық қоспалардың жоғары мөлшері, сорғы-компрессорлік құбырларда (СКҚ) парафиндер мен асфальт-шайыр заттарының шөгуі.

Бұл мақалада кен орындарын игерудің соңғы кезеңінде ШСҚ жұмысын кешенді диагностикалау әдіснамасы ұсынылған. Сұлылығы жоғары шартты ұңғымаларға тән ақауларды анықтау үшін динамограммалар мен эхограммаларды талдауға ерекше назар аударылған. Қондырғылардың жұмысын оңтайландыру бойынша тәжірибелік ұсыныстар әзірленген, оларға газ бөлгіштерді қолдану және қабаттың түпкі аймағына гидроимпульстік әсер ету кіреді. Қазақстан кен орындарының жағдайына ұсынылған шешімдердің тиімділігін растайтын өндірістік зерттеулердің нәтижелері келтірілген.

Әдіснама қабатқа импульстік әсер етудің толық циклын бақылауға және мұнай өндіруді арттыру технологияларының тиімділігін талдауға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері кен орындарын игерудің соңғы кезеңінде ШСҚ пайдалану сенімділігін арттыруға және жабдықтың жөндеу аралық мерзімдерін ұзарту бойынша тәжірибелік маңызға ие.

Түйін сөздер: штангалы сорғы қондырғылары, диагностика, динамограмма, эхограмма, жоғары суланған ұңғымалар, газ құрамы, игерудің соңғы кезеңі.

МЕТОДИКА ДИАГНОСТИКИ И АНАЛИЗА РАБОТЫ СКВАЖИН, ОБОРУДОВАННЫХ ШТАНГОВЫМИ НАСОСАМИ, НА ПОЗДНЕЙ СТАДИИ РАЗРАБОТКИ

[1]М.Ж. Досжанов, [2]Ю.А. Нифонтов, [3]Г.Ж. Тасболат, [1]Е.Т. Кодар, [4]Н.С. Сулейменов, [1]Л. Бисенбайкызы, [1]А.М. Толегенова

[1]Кызылординский университет «Болашак», Кызылорда, Казахстан,
[2]Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург, Россия,
[3]Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, Астана, Казахстан,
[4]Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан,
e-mail: galymzhan_zh@mail.ru

Скважинные штанговые насосные установки (ШСНУ) являются надежным и экономичным эксплуатационным оборудованием нефтяных скважин, широко применяемым при разработке малодебитных и высокообводненных пластов. Добыча нефти при помощи штанговых насосов – один из самых распространенных способов искусственного подъема, что объясняется их простотой, эффективностью и надежностью. Однако при эксплуатации ШСНУ часто возникают осложняющие факторы: высокое газосодержание на приеме насоса, повышенное содержание механических примесей в откачиваемой жидкости, отложение парафинов и асфальтосмолистых веществ в насосно-компрессорных трубах (НКТ).

В данной статье предложена комплексная методика диагностики работы ШСНУ на поздней стадии разработки месторождений. Особое внимание уделено анализу динамограмм и эхограмм для идентификации специфических неисправностей, характерных для условий высокообводненных скважин. Разработаны практические рекомендации по оптимизации работы установок, включая применение газосепараторов и гидроимпульсного воздействия на призабойную зону пласта. Представлены результаты промысловых исследований, подтверждающие эффективность предложенных решений для условий казахстанских месторождений.

Методика позволяет проводить мониторинг полного цикла импульсных воздействий на пласт и анализировать эффективность применяемых технологий увеличения нефтеотдачи. Результаты исследований имеют практическую значимость для повышения эксплуатационной надежности ШСНУ и увеличения межремонтных периодов работы оборудования на завершающей стадии разработки месторождений.

Ключевые слова: штанговые насосные установки, диагностика, динамограмма, эхограмма, высокообводненные скважины, газосодержание, поздняя стадия разработки.

METODOLOGY FOR DIAGNOSING AND ANALYZING THE PERFORMANCE OF WELLS EGUIPPED WITH ROD PUMPS AT THE LATE STRAGE OF DEVELOPMENT

[1]M.Zh. Doszhanov, [2]I.A. Nifontov, [3]G.Zh. Tasbolat✉, [1]E.T. Kodar, [4]N.S. Suleimenov, [1]L. Bisenbaikyzy, [1]A.M. Tolegenova

[1]Kyzylorda Bolashak University, Kyzylorda, Kazakhstan,
[2]Saint-Petersburg state marine technical University, Saint-Petersburg, Russia,
[3]K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
[4]Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan,
e-mail: galymzhan_zh@mail.ru

Sucker rod pump installations (SRPIs) are reliable and cost-effective production equipment for oil wells, widely used in the development of low-rate and highly water-cut reservoirs. Oil production using sucker rod pumps is one of the most common artificial lift methods, which is explained by their simplicity, efficiency, and reliability. However, during the operation of SRPIs, complicating factors often arise: high gas content at the pump intake, increased content of mechanical impurities in the produced fluid, deposition of paraffins and asphaltene-resinous substances in the tubing strings.

This article proposes a comprehensive methodology for diagnosing the operation of SRPIs at the late stage of field development. Special attention is paid to the analysis of dynamometer cards and echograms to identify specific malfunctions characteristic of highly water-cut wells. Practical recommendations have been developed for optimizing the operation of installations, including the use of gas separators and hydraulic pulse impact on the near-wellbore zone of the reservoir. The results of field studies confirming the effectiveness of the proposed solutions for the conditions of Kazakhstani fields are presented.

The methodology allows monitoring the full cycle of impulse impacts on the reservoir and analyzing the effectiveness of the applied technologies for enhanced oil recovery. The research results are of practical importance for improving the operational reliability of SRPIs and increasing the inter-repair periods of equipment operation at the final stage of field development.

Keywords: sucker rod pump installations, diagnostics, dynamometer card, echogram, highly water-cut wells, gas content, late stage of development.

Кіріспе. Қазіргі уақытта Қазақстандағы ірі мұнай кен орындарының едәуір бөлігі игерудің соңғы сатысында орналасқан, бұл кезең ұңғымалар өнімі құрамындағы судың жоғары мөлшерімен сипатталады. Ұңғыма өнімінің сулануы штанг колоннасында коррозиялық үдерістердің

дамуына ықпал етеді, ал бұл процестер штангалы ұңғымалық сорап қондырғыларын пайдалану барысында туындайтын динамикалық ауыспалы жүктемелермен бірігіп, металл құрылымына деструктивті әсерін күшейтеді. ШСҚ қолдану шарттары мен оларды пайдалану тәжірибесі көрсеткендей, металл штангаларда шаршау үдерістерінің (динамикалық жүктемелер мен коррозияның бірлескен әсері) дамуына түрлі факторлар ықпал етеді, нәтижесінде тереңдік сорап жабдықтарының бұзылуы мен істен шығуына алып келеді. Мұндай факторларға ұңғыма өнімінің сулануы, ілеспе судың минералдану деңгейі, штанг колоннасының материалы, ұңғыма оқпанының еңіс бұрышы (үйкеліс пен коррозияның жиынтық әсері), сулануға бейімділік (ұңғыма үзіліспен жұмыс істеген жағдайда, сораптағы ағып кетулер немесе төгу клапанының болу), штангалардың жаңалығы және сорап жетегінің жұмыс режимі жатады [1,2].

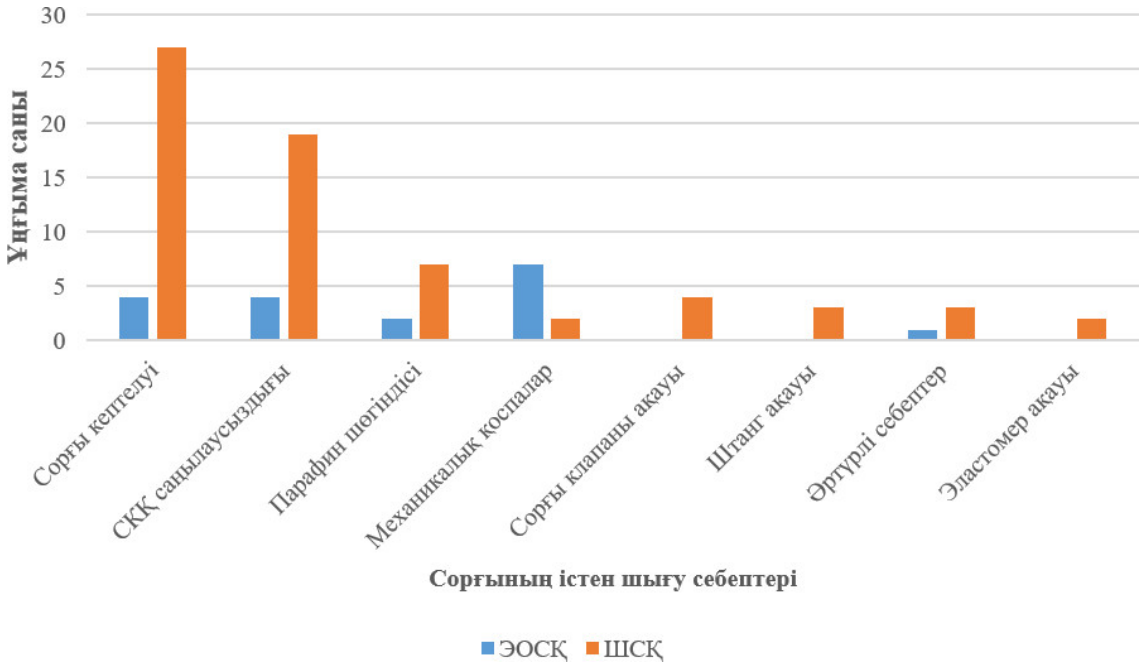
Бұл зерттеу мұнай кен орындарын игерудің соңғы сатысында штангалы сорғы қондырғыларының (ШСҚ) жұмысын кешенді диагностикалау әдістемесін әзірлеуге арналған. Тақырыптың өзектілігі соңғы кезеңдегі игеруде жиі кездесетін жоғары сулану, газ факторының өсуі және қабат энергиясының төмендеуі сияқты қиындықтармен байланысты. Бұл факторлар ШСҚ жұмысына кері әсер етіп, өнімділікті төмендетеді және жабдықтың тозуын тездетеді.

Зерттеудің мақсаты - соңғы кезеңдегі ШСҚ жұмысын диагностикалауға және оңтайландыруға бағытталған кешенді әдістеме әзірлеу.

Зерттеу міндеттері: соңғы кезеңдегі негізгі техникалық қиындықтарды талдау (сулану, газ факторы, тозу), динамограмма мен эхограмма деректерін жинақтау және жүйелеу, газ бөлгіштерді қолдану тиімділігін бағалау, гидроимпульстік әсердің суланған қабаттарға әсерін зерттеу, алынған нәтижелер негізінде практикалық ұсыныстар әзірлеу.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы динамограмма мен эхограммаларды біріктіретін интеграцияланған диагностикалық тәсілдің әзірленуінде жатыр.

Қазақстан үшін маңыздылығы - елімізде ірі мұнай-газ кен орындарының бірі Оңтүстік Торғай ойпаты ағымдағы кезеңде игерудің соңғы сатысында тұр, бұл жетілдірілген диагностика әдістерін қолдануды талап етеді.



1-сурет. Оңтүстік Торғай ойпаты кен орнындағы ұңғымалық сорғы жүйесі істен шығуының салыстырмалы көрсеткіші

Зерттеу нәтижелері ШСҚ жұмысын үздіксіз бақылау жүйесін құруға және жабдық ақауларын алдын алуға мүмкіндк береді. Бұл әсіресе қазіргі экономикалық жағдайда операторларға айтарлықтай үнемдеуге мүмкіндік береді.

Соңғы кезеңдегі игеруде ШСҚ диагностикасының тиімді әдістемесін әзірлеу мұнай өндіру тиімділігін арттырудың маңызды факторы болып табылады. Сондай-ақ жөндеу аралық кезеңін ұзарту және жабдықтың істен шығуын азайту өндірістік тұрғыдан ғана емес, ғылыми тұрғыдан да маңызды міндетке айналады. Жоғарыда аталған кен орнын зерттеу негізінде бірнеше ұңғымалардағы ШСҚ және ЭОСҚ (электр ортадан тепкіш сорғы қондырғы) сорғылар жүйесінің істен шығу себептеріне салыстырмалы талдау жүргізілді (1-сурет).

Талдау жүйесі жабдық сенімділігін арттыруға негізделген диагностика әдістерін жетілдіруге және ұңғымаларды игерудің соңғы кезеңінде тиімді басқару шешімдерін ұсынуға мүмкіндік береді.

Мұнай мен газ өндіруді оңтайландыру мақсатында ұңғымалардың жұмысын бақылау және талдау үшін динамограммалар қолданылады. Олар ақауларды уақытылы анықтап, жою бойынша белгіленген іс-шараларды дер кезінде жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Мұндай ақауларға жеткілікті көңіл бөлінбеген жағдайда, олар айтарлықтай экономикалық шығындарға алып келуі мүмкін [3,4].

ШСҚ сорғылары келесі жағдайларда жарамсыз деп танылады:

- плунжер (бөлінбейтін сораптар үшін) ұзындығы кемінде 1200 мм болатын сорап-

компрессорлық құбырлармен (СКҚ) қосылған цилиндрге өтпеген жағдайда;

- плунжердің төлқұжатта көрсетілген нөмері мен өлшемі нақты мәндерге сәйкес

келмеген жағдайда; егер нөмері сәйкес сәйкес келмесе, бірақ өлшемі сәйкес келсе, пайдалану төлқұжатына нақты деректер енгізіледі;

- хром жабынының тұтастығы бұзылған жағдайда (қабыршақтану, сызаттар, жарықтар

және т.б.);

- сорап құрамында кем дегенде бір пайдаланылған бөлшек анықталған жағдайда;

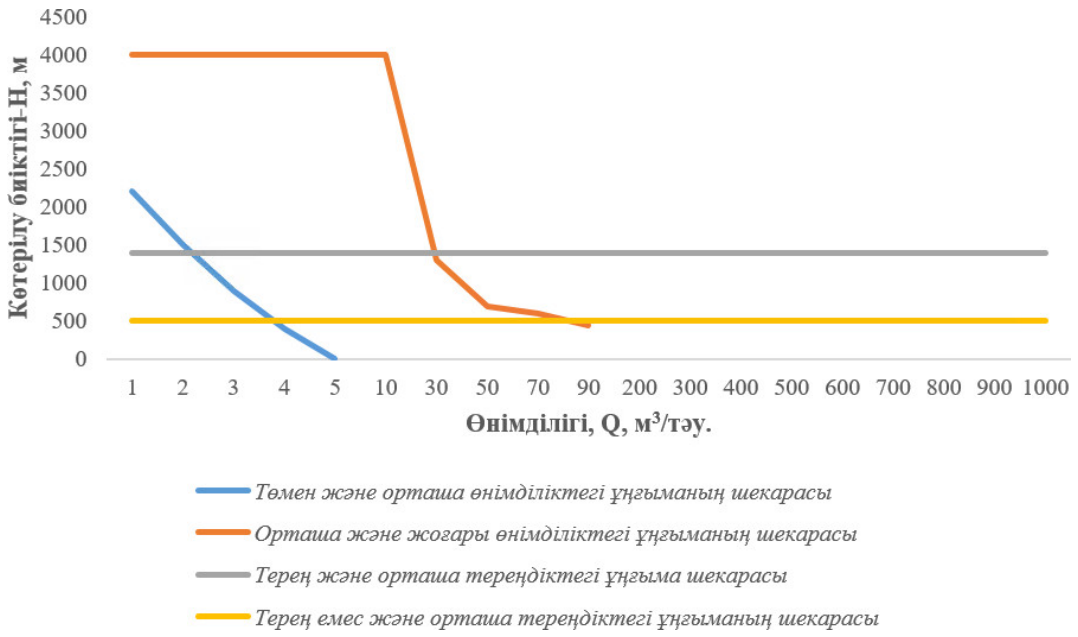
- хромдау процесінен кейін цилиндр мен плунжер беттерінде дөрекі өңдеу іздері

байқалған жағдайда.

Ұңғымаларда жүргізілетін жұмыстардың сипаты көбінесе олардың пайдалану тәсіліне, ұңғымаға түсірілген жер асты жабдығының түріне, сондай-ақ жер асты және жер үсті жабдықтарының жұмыс істеу жағдайына байланысты. Ұңғымаларды пайдалану тәсілдері мен қолданылатын жабдықтар туралы білімсіз маман тек жұмысты орындай алмай қалады, сонымен қатар мұндай жұмыстар апатқа немесе жазатайым оқиғаға алып келуі мүмкін.

Аталған факторлар жер қойнауынан мұнайды неғұрлым толық өндіруді қамтамасыз етуге бағытталған кен орындарын игеру кезінде туындайтын ең өзекті ғылыми-техникалық мәселелердің бірі болып табылады. Бұл мәселені шешуді күрделендіретін жағдай – мұнай кен орындарының басым көпшілігінің игеру жұмыстарының кеш сатысында өтуі. Мұндай жағдайда ауқымды материалдық-техникалық және еңбек ресурстарын тарту қажеттілігі туындайды. Қазіргі уақытта көптеген кен орындарында мұнай өндіруді тұрақтандыру міндеті қойылып отыр. Өнімді қабаттар, негізінен, жоғары аймақтық және қабаттық біртексіздігімен, бастапқы мұнаймен қанығуы мен өткізгіштігінің төмендігімен, сондай-ақ кең көлемді су-мұнай аймақтарының болуымен сипатталады (2-сурет) [5,6].

Бұл зерттеу жұмысының әдіснамасы жүйелік талдау қағидаттарына негізделген. Зерттеу барысында ұңғыма жұмысының гидродинамикалық процестері кешенді түрде қарастырылып, динамограммалар мен эхограммалар талданып, олардың негізінде сорап қондырғысының тиімділігін арттыруға арналған инженерлік ұсыныстар әзірленді.



2-сурет. Ұңғымалардың өнімділігі және сұйықтықты көтеру биіктігі бойнша шекаралары

Әдеби шолу. Ұңғымалық штангалы сорап қондырғылары қарапайым құрылымымен, сенімділігі және қызмет көрсету тиімділігімен ерекшеленіп, мұнай өндірудің соңғы кезеңдерінде кеңінен қолданылады.3-суретте арқан штангаларымен жабдықталған ұңғымалық сорап қондырғысының типтік схемасы көрсетілген. Қондырғы негізінен жер бетіндегі жетек, штангалар тізбегі және плунжерлі сораптан тұрады. Жетек қозғалысы штангалар арқылы ұңғыма түбіне беріледі де, плунжердің ілгерілемелі қозғалысын қамтамасыз етеді. Бұл жүйе мұнай қабатынан сұйықты жер бетіне шығару процесін жүзеге асырады.

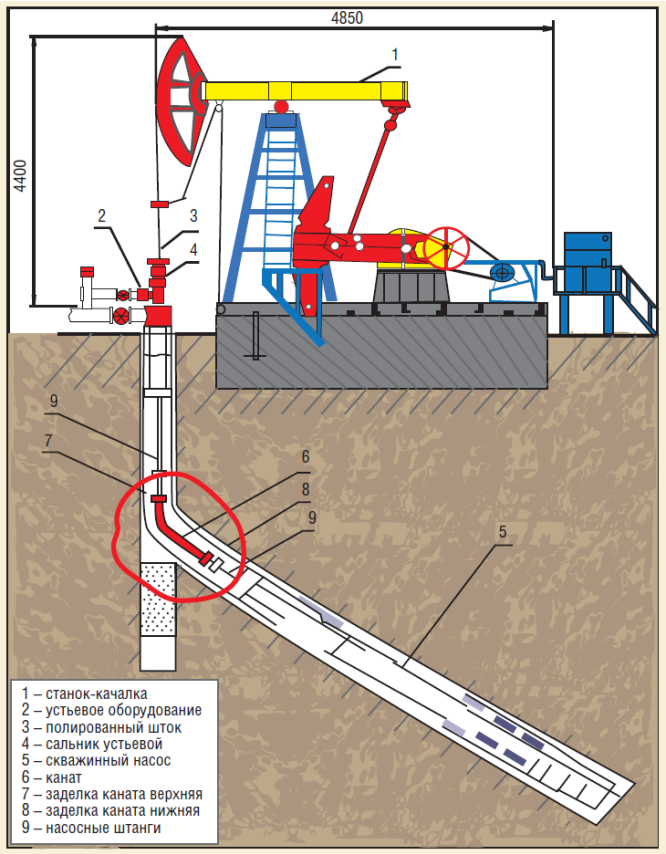
Қазіргі таңда кен орындарын игеру объектілері бойынша мұнай қайтарымын арттырудың үшінші реттік әдістерін қолдануға қатысты ауқымды зерттеулер жинақталған. Алайда мұнай алуды арттыруға бағытталған бірқатар технологияларды қолдану жиі тиімсіз болып жатады, бұл көбінесе олардың нақты геологиялық-өндірістік жағдайларға жеткілікті бейімделмеуіне байланысты. Аталған әдістерді ұтымды пайдалану қажеттілігінің туаындауына байланысты, мұнай қорларын геологиялық-технологиялық тұрғыдан сәйкестендіру, құрылымдастыру жұмыстарын жүргізу және қалдық мұнай қорларын тиімді өндіру жүйелерін жетілдіру міндеті алға қойылды [7].

Аталған технологияларды қолдану әрбір нақты жағдайда мұнайды барынша өндіру және экономикалық тұрғыдан тиімділік қағидаларына негізделуі тиіс. Осыған орай, әрбір технологияны енгізбестен бұрын, кен орнын игерудің жан-жақты геологиялық-технологиялық талдауы, геологиялық және гидродинамикалық модельдеу, сондай-ақ нақты геологиялық-физикалық жағдайларға сәйкес технологияны қолданудың көп критерийлі бағалауы жүргізілуі қажет.

Мұнай қорларын ұтымды өндіру үшін ұңғыманың түп маңы аймағына тиімді әсер ету әдістерін әзірлеу және қолдану – қазіргі таңда маңызды міндеттердің бірі болып отыр. Бұл бағыттағы зерттеулер қалдық қорларды өндірудің тиімділігін арттырып, кен орындарын игерудің соңғы сатыларында мұнай бергіштікті жақсартуға мүмкіншілік береді.

Соңғы онжылдықта ШСҚ диагностикасы саласында цифрлық технологиялардың енуі айтарлықтай жетістіктерге қол жеткізді. Заманауи динамографтар мен эхолокациялық жүйелер нақты уақыт режимінде деректерді жинақтауға және өңдеуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, арнайы бағдарламалық жасақтамалар динамограммаларды автоматты түрде талдауға және ақау-

ларды диагностикалауға мүмкіндік береді. Мысалы, искусственный интеллект негізіндегі жүйелер ШСҚ жұмысының аномалияларын алдын ала анықтай алады [8, 9].



3-сурет. Арқан штангаларымен жабдықталған үңғымалық сорап қондырғысының типтік схемасы: *1-тербелмелі станок; 2-сағалық жабдық; 3-жылтырлатылған шток; 4-сағалық сальник; 5-ұңғымалық сорғы; 6-арқан; 7-арқанның жоғарғы бітеуі; 8-арқанның төменгі бітеуі; 9-сорғы штангалары.*

Халықаралық тәжірибеде ШСҚ мониторингінің жаңа әдістері қолданыс табуда. АҚШ және Канадада бұл саладағы зерттеулер негізінен предиктивтік аналитикаға бағытталған. Осы мақсатта машиналық үйрену әдістері, сенсорлық желілер және бульттық деректерді талдау қолданылады. Осы технологиялардың тиімділігі бірқатар ірі мұнай компанияларымен расталған [10].

Қазақстандық зерттеулер негізінен жергілікті геологиялық-өндірістік ерекшеліктерге бағытталған. Соңғы жылдары гидродинамикалық модельдеудің жаңа әдістері әзірленді, олар ШСҚ жұмысын оңтайландыруға мүмкіндік береді. Дегенмен, әлі күнге дейін заманауи халықаралық тәжірибені желіктеу қажеттілігі сақталуда.

Осылайша, әдебиеттерді талдау көрсеткендей, ШСҚ диагностикасы саласындағы заманауи зерттеулер негізінен цифрлық технологияларды енгізуге бағытталған. Бұл бағыттағы жұмыстарды одан әрі жалғастыру, әсіресе Қазақстан жағдайына бейімделген әдістемелер әзірлеу өзекті мәселе болып табылады.

Материалдар мен әдістер. Бұл зерттеуде штангалы сорап қондырғыларының жұмысын диагностикалау үшін стандартты әдістер кешені қолданылды. Әдістемелік тұрғыда олар жеке аналитикалық блоктарға бөлініп, әрқайсысы нақты кезеңдер мен міндеттерді қамтыды.

Бақылау кезеңі.

Динамометрлік тексеру - плунжер жүрісінің

күш-жүктеме диаграммаларын алу үшін жер бетіндегі жетек пен штангаларға орнатылған динамометрлер қолданылды.

Эхолокацияны өлшеу - плунжер қозғалысының нақты ұзындығы мен сорап цилиндрінің толу дәрежесін бағалау үшін эхолокациялық құрылғылар пайдаланылды.

Талдау кезеңі.

Алынған динамограммалар визуалды және сандық әдістермен талданды: қалыпты режим, газ әсері, сулану және механикалық ақаулардың белгілері сараланды.

Эхограммалар арқылы плунжер қозғалысының тұрақтылығы, жүріс ұзындығындағы өзгерістер және цилиндр толу коэффициентінің динамикасы анықталды.

Интерпретация кезеңі.

Динамометрлік және эхолокациялық деректер салыстырылып, газ құрамының артуы мен сулануды сорап тиімділігіне ықпалы есептелді.

Қолданылған әдістердің нәтижелері жүйелік талдау негізінде біріктіріліп, сорап қондырғыларының жұмысындағы әлсіз тұстар анықталды.

Зерттеу негізінен нақты өндірістік жағдайларда алынған деректерге сүйенді. Эмпирикалық материалды жинау үшін ай сайынғы динамограммалар, ұңғымадағы сұйық деңгейін өлшеу нәтижелері, сондай-ақ газ факторы бойынша сынамалар пайдаланылды. Бұл деректер нәтижелердің сенімділігін қамтамасыз етті.

Ұңғымадағы гидроимпульстік қондырғының жұмысын зерттеу және бақылау, сондай-ақ ақаулардың себептерін анықтау үшін штангалы тереңдік сораптармен жабдықталған ұңғымаларды зерттеуге арналған стандартты жабдық қолданылады. Себебі, технологиялық шектеулерге байланысты мұндай ұңғымаларда жалпы өндірістік өлшеу жабдықтарын пайдалану мүмкін емес [11].

Гидробұрылыс шамасын есептеу үшін тұрақталған жұмыс режиміне сәйкес келетін түптік қысымды тікелей немесе жанама әдістермен анықтау қажет.

Түптік қысымды тікелей өлшеу үшін диаметрі 22-25 мм болатын шағын габаритті ұңғымалық манометрлер қолданылады. Мұндай аспаптар штангалы сорапты қондырғының ұңғыма сағасындағы сорап-компрессорлық құбырларды эксцентрикалық ілу жағдайында планшайбадағы тесіктер арқылы болат сыммен аралық кеңістікке түсіріледі. Осы тәсілмен алынған түптік қысым мәліметтері ең сенімді болып табылады. Алайда, терең және иілген ұңғымаларда немесе құбырлар арасындағы саңылау тым тар болған жағдайда манометрдің қысылып қалуы немесе сымның үзілуі орын алуы мүмкін. Мұндай жағдайлардың алдын алу мақсатында гидроимпульстік қондырғының қабылдау патрубкасына бекітіліп, сорап-компрессорлық құбырларымен (СКҚ) бірге ұңғымаға түсірілетін, лифтілік ұңғымалық манометрлер деп аталатын арнайы аспаптар қолданылады. Бұл әдіс зерттеу нәтижелерінің жеткілікті сенімділігін қамтамасыз етеді, дегенмен лифтілік манометрді ұңғымаға түсіру және оны қайта шығару үшін көтеріп-түсіру операцияларын орындау қажеттілігімен байланысты. Осы себепті мұндай өлшеулер әдетте, ұңғымада кезекті жөндеу жұмыстары немес қондырғыны ауыстыру барысында жүргізіледі [12].

Нәтижелердің жоғары дәлдігіне қарамастан, бұл әдістердің еңбек сыйымдылығы мен технологиялық тиімсіздігіне байланысты олар кеңінен қолданыс таппаған. Осыған орай, түптік қысымды анықтаудың анағұрлым технологиялық тұрғыдан тиімді жолы - аралық кеңістіктегі сұйықтықтың динамикалық деңгейінің тереңдігін эхолоттар немесе толқын өлшегіштер арқылы өлшеу негізінде жүзеге асырылатын жанама әдістері болып табылады.

Аспаптың жұмыс принципі келесідей, аралық кеңістікке дыбыстық импульс жіберіледі, ол сұйықтық деңгейінен шығылысып, ұңғыма сағасына қайта оралады және қабылдаған сигналды тіркейтін құрылғымен байланысқан микрофон арқылы қабылданады. Бұл микрофон күшейткіш арқылы сигналдарды тіркеуші аспаппен қосылады. Динамикалық деңгейдің тереңдігі - диаграммада бастапқы импульс пен сұйықтық деңгейінен шағылған сигналға сәйкес келетін екі шыңның арақашықтығын өлшеу арқылы аны-

қталады. Дыбыстық сигнал ұңғыма сағасынан сұйықтық деңгейіне дейінгі аралықты екі рет (бару және қайту) жүріп өтетіндіктен және газды ортада дыбыстың таралу жылдамдығы белгілі болған жағдайда, сұйық деңгейінің тереңдігі келесі қатынас бойынша есептеледі [13]:

$$S = \vartheta \cdot \frac{t}{2} \qquad (1)$$

мұнда:

S - сұйықтық деңгейінің тереңдігі;

t - импульс берілген сәттен бастап шағылған сигналдың қайтып келу уақыты, бұл уақыт ішінде сигнал $2S$ жол жүреді;

ϑ - аралық кеңістіктегі газ ортасында дыбыстың таралу жылдамдығы.

Мұндай әдіспен сұйық деңгейін анықтаудың бірқатар кемшіліктері бар.

Аралық кеңістіктегі дыбыс жылдамдығы ϑ газдың қысымына, температурасына және тығыздығына тәуелді. ϑ мәнін анықтаудағы қателік сұйық деңгейінің тереңдігін S анықтаудағы нәтижеге тікелей әсер етеді.

Бір ұңғымада сұйықтықты өндірудің әртүрлі режимдеріне сәйкес бірнеше S мәні өлшеніп, олардың орташа шамалары есептелген жағдайда, қателіктер азаяды, өйткені ϑ мәніндегі жүйелі қате барлық өлшенген S шамаларына бірдей әсер етеді.

Ұңғымааралық кеңістікте көбіктенген сұйықтықтың болуы деңгейден шағылған сигналдың анық қабылдануын қиындатады және бұл эхолот арқылы өлшеу әдісіне тән жалпы кемшілік болып табылады. Сондықтан өлшеу жүргізер алдында аралық кеңістіктен газды шығару жұмыстарын жүргізбеу аса маңызды, өйткені бұл сұйықтықтың көбіктенуіне алып келуі мүмкін. Алайда бұл талапты әрдайым сақтау мүмкін емес, себебі кейбір хлопушка түріндегі сағалық жабдықтарда арнайы бұрандалы тығынмен жабылатын ұңғыма сағасы плитасындағы тесіктер арқылы газ шығатын арналар қарастырылған. Сондай-ақ, сұйықтық алу режиміне сәйкес келетін түптік қысымды деңгей арқылы анықтау үшін, сұйық деңгейі мен ұңғыма түбі арасындағы сұйық бағанының орташа тығыздығын білу қажет екенін атап өткен жөн. Алайда бұл тығыздық сұйықтықтың сулану дәрежесіне және газ құрамына тәуелді болғандықтан, оны дәл анықтау едеәуір қиындық туғызады [14].

Қазіргі заманғы жоғары смезімтал эхолоттар СКҚ колоннасының әрбір муфтасынан шағылған сигналдарды тіркей алады. Мұндай жағдайда сұйықтық деңгейінің тереңдігі эхограммада сұйық деңгейіне сәйкес келетін сигналға дейінгі пик саны арқылы анықталады және бұл сан бір құбырдың ұзындығына көбейтіледі. Аспап муфталардың үстіңгі бөліктерінен шағылған сигналдарды электрлік сүзгілер көмегімен бөлуге, үлкен тереңдікте орналасқан муфталардан шағылған сигналдарды айқындауға, сондай-ақ үлкен тереңдіктер жағдайында сұйықтық деңгейінен шағылған негізгі сиганлды анықтауға мүмкіндік береді.

Хлопушкада немес оның бүйірлік тармағында шағылған сигналдарды қабылдауға арналған кварцты сезімтал микрофон орнатылады. Эхолоттардың кейбір конструкцияларында микрофонның орнына термофондар қолданылады. Микрофон дыбыстық сигналдарды электрлік сигналдарға түрлендіріп, оларды күшейткішке жібереді. Күшейткіште өлшенетін сигналды бөліп көрсету және кедергілерді басу үшін үш арналы сүзгі жүйесі қарастырылған. Сонымен қатар, күшейткіште сезімталдықты реттейтін құрылғы мен сигналды жазуға арналған цифрлық блок бар.

Хлопушка патрубогы аралық кеңістіктегі ысырманың фланецңне газды шығарусыз қосылады және 2,5 МПа-ға дейінгі қысымда өлшеулер жүргізуге мүмкіндік береді.

Сондай-ақ, сұйықтықты алу режиміне сәйкес келетін түптік қысымды деңгей бойынша анықтау үшін, сұйық деңгейі мен ұңғыма түбі арасындағы сұйық бағанының орташа тығыздығын білу қажет екенін атап өткен жөн. Бұл тығыздық сұйықтықтың сулану дәрежесіне және газ құрамына тәуелді болғандықтан, оны дәл анықтау едәуір қиындық туғызады [15,16].

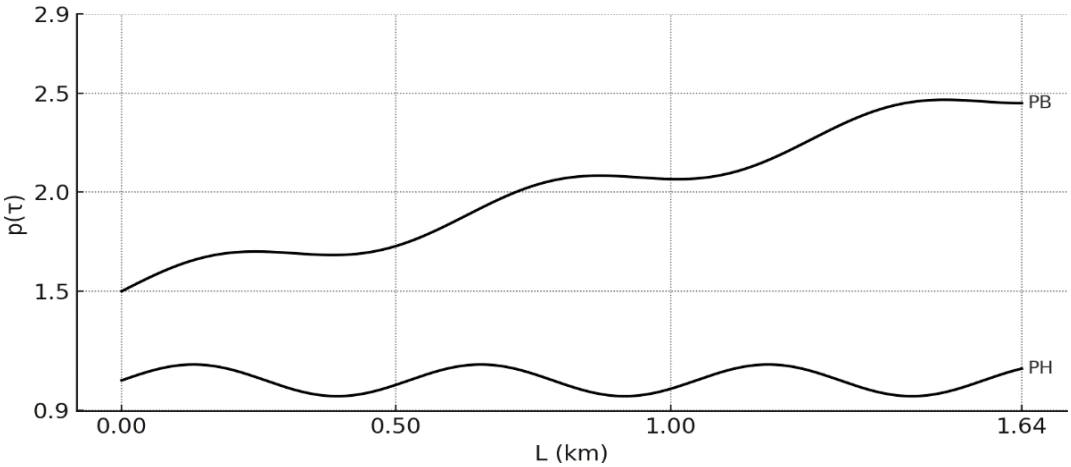
Сипатталған кемшіліктерге қарамастан, зама-

науи технологиялар эхолокациялық өлшеулердің сенімділігін едәуір арттырды. Жоғары сезімтал эхолоттар күрделі сандық сүзгілерді және сигналдарды жинақтау алгоритмдерін қолданады, бұл сұйықтық деңгейінен алынған әлсіз пайдалы сигналды СКҚ муфталарынан немесе көбіктен туындаған күшті кедергілер аясынан бөліп алуға мүмкіндік береді. Негізгі жүйелі қателікті - дыбыс жылдамдығын (ϑ) дәл анықтамаудан туындайтын ауытқуды - азайту үшін озық әдістер белгілі тереңдіктегі шағылдырғышқа (мысалы, муфта немесе пакер) қатысты аспапты калибрлеуді ұсынады. Бұл нақты ұңғы жағдайларына сәйкес дыбыс жылдамдығын есептеуге және соңғы нәтиженің дәлдігін айтарлықтай арттыруға мүмкіндік береді.

Маңыздысы - эхолот деректерін жеке-дара қарастыруға болмайды. Ең дәл нәтижелер кешенді интерпретация кезінде алынады, яғни аспап көрсеткіштері ұңғы жұмысына қатысты басқа деректермен: динамограммалармен, дебитпен, сулану деңгейімен және газ факторы көрсеткіштерімен салыстырылады. Бұдан бөлек, аса маңызды ұңғыларда немесе эхолот деректерін мерзімді тексеру үшін эталондық өлшеу әдісі қолданылады, ол үшін түпке тереңдік манометрлері түсіріледі. Бұл әдіс сұйық бағанының деңгейі мен тығыздығы арқылы есептелуге байланысты қателіктерді айналып өтіп, түптік қысымды тікелей өлшеуге мүмкіндік береді.

Нәтижелер және талқылау. Бұл әдіс қондырғы жұмысының эхограммасын тіркеуге мүмкіндік береді және ол пластқа берілетін импульстік әсерлердің толық циклін бақылау мен талдау үшін де қолданылады. Қабатқа әсер ету цикліне имплозиялық және гидроимпульстік соққы түріндегі импульстардың белгілі бір тізбегі кіреді. Эхолотпен сигнал жазу уақыты 32 секундпен шектелген, бұл станок-тербелгіштің жылдамдығы 5 тербеліс/мин болған жағдайда қондырғы жұмысының толық циклін жазуға толық жеткілікті.

Қондырғы жұмысының бақылау динамометрия әдісі арқылы жүзеге асырылады. Динамограмма штангаларды орын ауысуына байланысты жылтыр штоктағы жүктеменің өзгеруін көрсетеді және осы мәліметтерді математикалық өңдеу нәтижесінде плунжердің нақты орын ауысуы анықталады (4-сурет). Динамограммаларды тіркеу үшін күшті өлшейтін тіркеуші аспаптар – динамометрлер қолданылады. Қолдануға ыңғайлы болу үшін олар эхолоттармен біріктірілген түрде шығарылады.



4-сурет. ШСҚ қалыпты жұмысы бойынша динамограмма көрсеткіші

Динамограмма арқылы анықталатын ШСҚ-дың ақаулықтары: қабылдау клапанындағы ағып кету; айдау клапанындағы ағып кету; газдың әсері; газдың әсерінен берілудің үзілуі; плунжердің тығыз орналасуы немесе қысыла қозғалуы; плунжердің төмен орналасуы; плун-

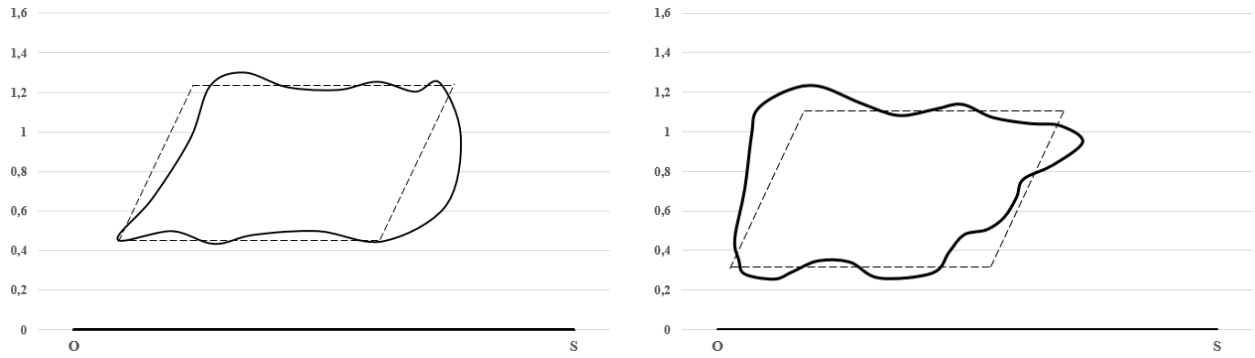
жердің жоғары орналасуы; плунжердің төмен жүріс соңында қысылы қозғалысы; плунжер жұбының тозуы; плунжердің цилиндрен толық шығуы; айдау клапанының жабылуының кешеуілдеуі; қабылдау клапанының жабылуының кешеуілдеуі; қабылдау және айдау клапан -

дарының жабылуының бір мезгілде кешеуілдеуі; қабылдау және айдау клапандарының бітеліп қалуы; құбырлардағы ағып кету; қабылдау клапанындағы ағып кетулер; айдау клапаны ашық, бірақ сұйықтық берілмейді; айдау клапанындағы ағып кету салдарынан берілудің үзілуі;

штангалардың плунжердің немесе айдау клапанының бұралып босап кетуі; плунжердің тығыз орналасуы.

Көп жағдайда сорғы жұмысына газдың әсері нәтижесінде ақаулықтар туындайды, бұл цилиндрдің толу коэффициентінің төмендеуіне алып келеді (5-сурет). Сорғы штангалы колоннасы арқылы көтерілетін сұйықтықтың құрамындағы бос газдың болуы скважина өнімділігі мен дебитінің төмендеуіне себеп болуы мүмкін, өйткені газ сорғы цилиндріндегі сұйықтық алуы тиіс көлемді толықтай немесе ішінара алып қояды.

Еркін газдың әсері кезінде динамограмма пішіні көбінесе, сорғы берілісі ұңғымадағы өнім ағынынан асып түсіп, сорғы қабылдауындағы қысым күрт төмендеген жағдайдағы динамограммаға ұқсас болады. Мұндай жағдайда ұңғыманы қысқа мерзімді тоқтатқаннан кейін қатарынан тіркелетін динамограммалардың пішініне мұқият талдау жасалады. Егер сорғының беру мөлшері ұңғыманың өнім ағысынан артық болса, онда ұңғыманы тоқтатқаннан кейінгі алғашқы динамограмма (6-сурет, динамограмма 1) сорғы цилиндрінің сору жүрісінде толық толуын көрсетеді. Ал кейіннен тіркелетін динамограммалар 2,3 және 4 біртіндеп еркін газдың әсеріне тән пішінді қабылдай бастайды. Пунктир сызықпен жоғарыда көрсетілген жағдайларға сәйкес келетін теориялық динамограмма белгіленген.

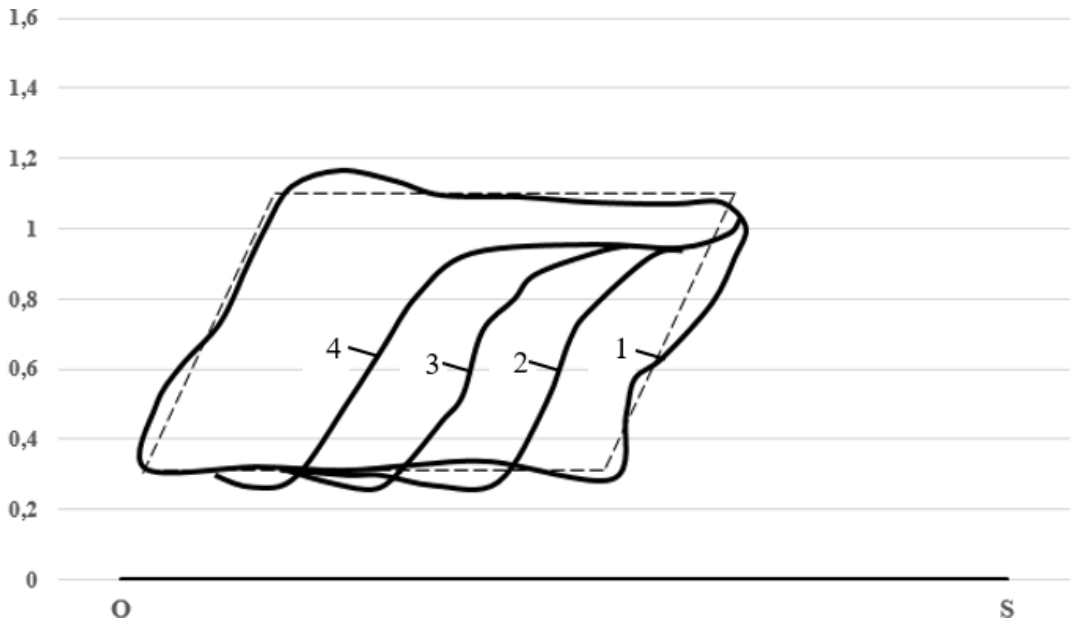


а) **б)**

5-сурет. Бос газдың әсері жағдайындағы динамограммалар

а - төмен қысымда газ қарқынды түрде бөлініп шығып, цилиндр көлемінің бір бөлігін алып қояды. Бұл жағдайда динамограмма «ішке қарай майысқан» және жұмыс аймағының көлемі азайған - бұл цилиндрдің толық толмауын және сұйықтық берілісінің төмендеуін көрсетеді; б - жоғары қысымда газ еріген күйде қалып, аздап ғана бөлінеді, сондықтан динамограмма формасы салыстырмалы түрде тұрақты, бірақ әлі де толымсыздық байқалады. Плунжер жүрісінің соңғы кезеңінде сұйықтық орнына газ толып, сорғы жұмысына кедергі келтіреді.

Мұндай мәселелерді шешудің бір жолы - газ сепараторларын қолдану болып табылады, бұл ұңғыма өнімділігін арттырып, сорғының бұзылу қаупін азайтады.



6-сурет. Сорғы берілісі ұңғыма өнімі ағыныан асып түсетін жағдайдағы типтік динамограммалар

1 - ұңғыманы тоқтатқаннан кейін сорудың жұмыс жүрісінде цилиндрдің қалыпты толуы. Ұңғыманы қысқа мерзімді тоқтатқаннан кейінгі бірінші сорап айналымы. Бұл кезде түптен сұйықтық толық көлемде келіп, цилиндр толық толады. Динамограммада бұл қалыпты теориялыққа жақын пішінмен сипатталады; 2,3,4 - бірінші динамограмма алынғаннан кейін белгілі уақыт аралығында тіркелген динамограммалар. Келесі айналымдарда сұйықтық көлемі азайып, оның орынна еркін газ көтеріле бастайды. Цилиндр іші ішінара сұйықтықпенғ ішінара газбен толады.2→3 динамограмма пішіні біртіндеп тарылып, ішке қарай майысады, толымсыздық көрсетеді.3→4 бұл газлифттік эффект немесе сору кезінде газдың көлем алып қоюы салдарынан пайда болатын құбылыс.

Сонымен қатар, эхограммалар мен динамограммаларды кешенді талдау тек қана типтік ақауларды анықтап қана қоймай, қолданылып жатқан технологиялық шешімдердің тиімділігін де бағалауға мүмкіндік береді. Мысалы, газ бөлгіштерді қолдану немесе станок-качалканың жұмыс режимін өзгерту динамограммада айқын өзгерістерге әкеледі: цилиндрдің толу коэффициенті артады, қисықтың формасы бірқалыпты болып, теориялық қисыққа жақындайды. Бұл еркін газдың әсерінің азайғанын және сұйықтық алудың тиімділігінің артқанын көрсетеді. Осылайша, қондырғы жұмысына мониторинг жүргізу әдістері ұңғыманы пайдалану технологиялық режимін оңтайландыруға және жүргізілген шаралардың нәтижелілігін бағалауға құнды ақпарат береді.

Ұсынылған әдістеменің тиімділігі өндірістік сынақтар кезінде расталды. Газ сепараторларын қолдану цилиндр толу коэффициентін 0,75-тен 0,92-ге дейін арттыруға мүмкіндік берді, бұл өнімділікті 18-22%-ға арттырды. Гидроимпульстік әсерлеу тәсілі қабаттың өткізгіштігін жақсартып, сұйықтық алу деңгейін 15%-ға дейін арттырды. Алынған нәтижелер ШСҚ диагностикасында интеграцияланған тәсілдің тиімділігін растайды.

Қорытынды. Қазіргі уақытта штангалы сорғы қондырғыларын (ШСҚ) пайдалану мұнай өндірудің басқа әдістерімен салыстырғанда әлемдік тәжірибеде ұңғымалар саны бойынша бірінші орында тұрады. Мысалы, АҚШ-та ұңғымалардың 86%-ы, ал Батыс Еуропада 90%-ы ШСҚ-мен жабдықталған. Дегенмен, практикада ШСҚ-ны пайдалану кезінде ұңғыма дебиті мен өнімділігінің төмендеуіне, жабдық элементтерінің тозуының артуына және экономикалық тиімділіктің азаюына әкелетін күтпеген жағдайларды болдырмай қалу мүмкін емес.

Жүргізілген зерттеу нәтижелері ШСҚ жұ-

мысын диагностикалауда динамограмма мен эхограммаларды біріктіретін кешенді тәсілдің тиімділігін растады. Газ сепараторларын қолдану цилиндр толу коэффициентін 15-20% арттырып, ал гидроимпульстік әсерлеу сұйықтық алу деңгейін 15%-ға дейін жоғарылатты. Динамограммаларды талдау арқылы 30-дан астам түрлі ақауларды, соның ішінде клапандардың ағып кетуін, газ әсерін және механикалық бұзылуларды анықтауға болатындығы дәлелденді.

Зерттеу барысында әзірленген әдістемелерді өндіріске енгізу ШСҚ-ның жөндеу аралық мерзімін 25-30%-ға ұзартуға, апаттық тоқтауларды азайтуға және өндірістік шығындарды төмендетуге мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер мұнай өндірудің соңғы кезеңінде ШСҚ-ны тиімді пайдаланудың жаңа мүмкіндіктерін ашады және оларды одан әрі жетілдіру бағыттарын анықтайды.

Әдебиеттер

1. Ананьев В.П., Потапов А.Д., Филькин Н.А. Специальная инженерная геология: Учебник / М.: Инфра-М. - 2016. -С.111-125. ISBN 978-5-16-010407-2.

2. Galeev A.S., ArslanovR.I., Suleymanov R.N., Filimonov O.V. Development of a method for wireless information transmission in wells equipped with sucker rod pump units //Journal of Physics: Conference Series. -2020. -Vol.1661: 012003. DOI 10.1088/1742-6596/1661/1/012003.

3. Добров Э.М. Инженерная геология: Учебник / М.: Издательский центр «Академия». - 2008. -С.151-178. ISBN 978-5-7695-2890-3.

4. Коробейников А.Ф. Геология прогнозирование и поиск месторождений полезных ископаемых: Учебник для бакалавриата и магистратуры // Люберцы: Юрайт. -2016. -С.10-98. ISBN 978-5-4387-0175-0.

5. Кочеков М.А. Повышение эффективности эксплуатации штанговых насосных установок в высокообводненных скважинах. Автореферат дис..канд.тех. наук: 25.00.17.- Уфа,2014.- 132 с.

6. Мухаметзянов А.К., Чернышов И. Н., Липерт А. И., Ишемгужин С. Б. Добыча нефти штанговыми насосами/ - М.: Недра. -1993. -350 с. ISBN 5-247-02488-5.

7. Уразаков К.Р., Богомольный Е.И., Сейтпагамбетов Ж.С., Газаров А.Г. Насосная добыча высоковязкой нефти из наклонных обводненных скважин / М.: Недра. - 2003. -303 с. ISBN 5-8365-0121-1.

8. Ковшов В.Д., Сидоров М.Е., Светлакова С.В. Динамометрирование, моделирование и диагностирование состояния глубинной штанговой насосной установки // Известия вузов. Нефть и газ. -2011.- № 3. - С.26-30.

9. Fakher S., Khlaifat A., Hossain M.E. et al. A comprehensive review of sucker rod pumps' components, diagnostics, mathematical models, and common failures and mitigations// Journal of Petroleum Exploration and Production Technology.-2021.-Vol.11(10).-P.3815–3839. DOI 10.1007/s13202-021-01270-7.

10. Гилаев Г.Г., Бахтизин Р.Н., Уразаков К.Р. Современные методы насосной добычи нефти: монография // Уфа: Восточная печать. -2016. - 410 с. ISBN 978-5-905220-72-1.

11. Ковшов В.Д., Сидоров М.Е., Светлакова С.В. Моделирование динамограмм на квазистационарных режимах работы ГШН //Известия вузов. Нефть и газ. -2015. -№ 4.- С.51-56.

12. Валовский В.М., Валовский К.В. Цепные приводы скважинных штанговых насосов/ М.: ОАО «ВНИИОЭНГ». -2004. -С.350-415. ISBN 5-88595-140-1.

13. Попов А.Л., Вихарев А.Н., Абанов А.Э., Теселкин М.В., Штанговые скважинные насосные установки: конструирование и расчет: учебное пособие/ Северный (Арктический) федеральный

университет им. М.В. Ломоносова: САФУ. -2016.-С.37-72. ISBN978-5-261-01172-9.

14. Досжанов М.Ж., Жубанов О.Н., Султанбеккызы А. Вопросы математического моделирования процессов разработки трудоизвлекаемых и высоковязких запасов нефти// The Way of Science №1(1). -2014. -С.100-102. ISSN 2311-2158.

15. Досжанов М.Ж., Қойлыбаев Б.Н., КаражановаМ.К., Ахметов Д.А., Тасболат Г.Ж., Анализ развития трещин автогидроразрыва на нагнетательных скважинах//Научный журнал «Нефть и газ».-2021 -№1(121). -С.69-76. DOI 10.37878/2708-0080/2021-1.05.

16. Сейтжанов С.С., Тасболат Г.Ж., Сүлейменов Н.С., Танжариков П.А., ДосжановМ.Ж. Кен орнының сарқылуы жағдайында мұнай ұңғымасының көлденең учаскесінің ағымдағы ұзындығын анықтау әдісі//«ҚазТБУ хабаршысы».-2024.- №4(25).- Б.289-297. DOI 10.58805/kazutb.v.4.25-637.

References

1. Anan’ ev V.P., Potapov A.D., Fil’ kin N.A. Special’ naja inzhenernaja geologija: Uchebnik / M.: Infra-M. - 2016. -S.111-125. ISBN 978-5-16-010407-2. [in Russian]

2. Galeev A.S., ArslanovR.I., Suleymanov R.N., Filimonov O.V. Development of a method for wireless information transmission in wells equipped with sucker rod pump units //Journal of Physics: Conference Series. -2020. -Vol.1661: 012003. DOI 10.1088/1742-6596/1661/1/012003.

3. Dobrov Je.M. Inzhenernaja geologija: Uchebnik / M.: Izdatel’ skij centr «Akademija». - 2008. -S.151-178. ISBN 978-5-7695-2890-3. [in Russian]

4. Korobejnikov A.F. Geologija prognozirovanie i poisk mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh: Uchebnik dlja bakalavriata i magistratury // Ljubercy: Jurajt. -2016. -S.10-98. ISBN 978-5-4387-0175-0. [in Russian]

5. Kochekov M.A. Povyshenie jeffektivnosti jekspluatacii shtangovyh nasosnyh ustanovok v vysokoobvodnennyh skvazhinah. Avtoreferat dis..kand.teh. nauk: 25.00.17.- Ufa,2014.- 132 s. [in Russian]

6. Muhametzjanov A.K., Chernyshov I. N., Lipert A. I., Ishemguzhin S. B. Dobycha nefti shtangovymi nasosami/ - M.: Nedra. -1993. -350 c. ISBN 5-247-02488-5. [in Russian]

7. Urazakov K.R., Bogomol’ nyj E.I., Sejtpagambetov Zh.S., Gazarov A.G. Nasosnaja dobycha vysokovjazkoj nefti iz naklonnyh obvodnennyh skvazhin / M.: Nedra. - 2003. -303 c. ISBN 5-8365-0121-1. [in Russian]

8. Kovshov V.D., Sidorov M.E., Svetlakova S.V. Dinamometrirovanie, modelirovanie i diagnostirovanie sostojanija glubinnoj shtangovoj nasosnoj ustanovki // Izvestija vuzov. Neft’ i gaz. -2011.- № 3. - S.26-30. [in Russian]

9. Fakher S., Khlaifat A., Hossain M.E. et al. A comprehensive review of sucker rod pumps’ components, diagnostics, mathematical models, and common failures and mitigations// Journal of Petroleum Exploration and Production Technology.-2021.-Vol.11(10).-P.3815–3839. DOI 10.1007/s13202-021-01270-7.

10. Gilaev G.G., Bahtizin R.N., Urazakov K.R. Sovremennye metody nasosnoj dobychi nefti: monografija // Ufa: Vostochnaja pechat’. -2016. - 410 s. ISBN 978-5-905220-72-1. [in Russian]

11. Kovshov V.D., Sidorov M.E., Svetlakova S.V. Modelirovanie dinamogramm na kvazistacionarnyh rezhimah raboty GShN //Izvestija vuzov. Neft’ i gaz. -2015. -№ 4.- S.51-56. [in Russian]

12. Valovskij V.M., Valovskij K.V. Cepnye privody skvazhinnyh shtangovyh nasosov/ M.: OAO «VNIIOJeNG». -2004. -S.350-415. ISBN 5-88595-140-1. [in Russian]

13. Popov A.L., Viharev A.N., Abanov A.Je., Teselkin M.V., Shtangovye skvazhinnye nasosnye ustanovki: konstruirovanie i raschet: uchebnoe posobie/ Severnyj (Arkticheskij) federal’ nyj universitet im. M.V. Lomonosova: SAFU. -2016.-S.37-72. ISBN978-5-261-01172-9. [in Russian]

14. Doszhanov M.Zh., Zhubanov O.N., Sultanbekkyzy A. Voprosy matematicheskogo modelirovanija processov razrabotki trudoizvlekaemyh i vysokovjazkih zapasov nefti// The Way of Science №1(1). -2014. -S.100-102. ISSN 2311-2158. [in Russian]

15. Doszhanov M.Zh., Қojlybaev B.N., KarazhanovaM.K., Ahmetov D.A., Tasbolat G.Zh., Analiz razvitija treshhin avtogidrorazryva na nagnetatel’ nyh skvazhinah//Nauchnyj zhurnal «Neft’ i gaz».-2021 -№1(121). -S.69-76. DOI 10.37878/2708-0080/2021-1.05. [in Russian]

16. Sejtzhanov S.S., Tasbolat G.Zh., Sylejmenov N.S., Tanzharikov P.A., DoszhanovM.Zh. Ken ornynyң sarқyluy zhaғdajynda mұnaj ұңғymasynyң kөldenең uchaskesinің aғymdaғy ұzyndyғyn anyқtau ədisi//«ҚazTBU habarshysy».-2024.- №4(25).- B.289-297. DOI 10.58805/kazutb.v.4.25-637. [in Russian]

Авторлар туралы мәліметтер

Досжанов М.Ж. - техникалық ғылымдар докторы, профессор, Қызылорда «Болашақ» университеті, Қызылорда, Қазақстан, e-mail: doszhanov55@mail.ru;

Нифонтов Ю.А. - техника ғылымдарының докторы, профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік теңіз техникалық университеті, Санкт-Петербург, Ресей, e-mail: nifontov@yandex.ru;

Тасболат Ғ.Ж. - техника ғылымдарының магистрі, сеньор-лектор, Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: galymzhan_zh@mail.ru;

Қодар Е.Т. - техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Қызылорда «Болашақ» университеті, Қызылорда, Қазақстан, e-mail: erdenkodar@inbox.ru;

Сүлейменов Н.С. - техника ғылымдарының кандидаты, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан, e-mail: nurzhan_suleymen@mail.ru;

Бисенбайқызы Л. - аға оқытушы, Қызылорда «Болашақ» университеті, Қызылорда, Қазақстан, e-mail: lyazzat84_bu@mail.ru;

Төлегенова А.М. - техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, Қызылорда «Болашақ» университеті

Information about the authors

Doszhanov M. - Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyzylorda Bolashak University, Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: doszhanov55@mail.ru;

Nifontov I. - Doctor of Technical Sciences, Professor, Saint-Petersburg state marine technical University, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: nifontov@yandex.ru;

Tasbolat G. - Master of Technical Sciences, Senior Lecturer, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: galymzhan_zh@mail.ru;

Kodar E. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kyzylorda Bolashak University, Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: erdenkodar@inbox.ru;

Suleimenov N.S. - Candidate of Technical Sciences, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: nurzhan_suleymen@mail.ru;

Bisenbaikyzy L. - Senior, Kyzylorda Bolashak University, Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: lyazzat84_bu@mail.ru;

Tolegenova A. - Master of Technical Sciences, Senior Lecturer, Kyzylorda Bolashak University, Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: smk_bolashak@mail.ru.

IRSTI 86.40 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1141**

SAFETY ENGINEERING FOR WIND TURBINE HEIGHT OPERATIONS: A CRITICAL REVIEW OF ISO/OSHA/EN STANDARDS

[1]L.M. Aktayeva, [1]A.M. Koshayeva, [1]A.B. Bekmagambetov, [1]A.M. Rakhmetova, [1]E.A. Kulmagambetova, [2]G.K. Daumova

[1]Republican Research Institute for Occupational Safety, Astana, Kazakhstan,
[2]Kazakhstan Regional Branch of the Republican Research Institute for Occupational Safety, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan
Corresponding author: koshayeva12@gmail.com

The article examines the main standards that apply to high-altitude work in the wind energy industry. Such documents are necessary to regulate and ensure safety at all stages of the life cycle of ”green” energy production, with special attention to be paid to the most hazardous areas of activity, including high-altitude work. Based on this, a critical analysis of the requirements and standards in the selected countries is carried out, the standards used and the percentage of uncountable cases in the process of high-altitude work at stations are compared. At the same time, each country adheres to the requirements of uniform international standards, but, if necessary, adopts its own requirements, specifically for certain types of stations, types of work, etc. In conclusion, a number of problematic aspects are put forward, the solution of which will contribute to increasing the level of safety at wind stations.

Keywords: wind energy, green energy, wind power plants, high-altitude work, standards, safety, labor protection, injuries.

ЖЕЛ ТУРБИНАЛАРЫНДАҒЫ ТЕХНИКАЛЫҚ ЖҰМЫСТАРДЫҢ ҚАУІПСІЗДІГІ: ISO/OSHA/EN СТАНДАРТТАРЫН ТАЛДАУ

[1]Л.М. Актаева, [1]А.М. Кошаева, [1]Ә.Б. Бекмағамбетов, [1]А.М. Рахметова, [1]Э.А. Құлмағамбетова, [2]Г.К. Даумова

[1]Еңбекті қорғау жөніндегі Республикалық ғылыми-зерттеу институты, Астана, Қазақстан,
[2]Еңбекті қорғау жөніндегі Республикалық ғылыми-зерттеу институтының Шығыс-Қазақстан өңірлік бөлімшесі, Өскемен, Қазақстан,
e-mail: koshayeva12@gmail.com

Мақалада жел энергетикасы саласындағы биіктік жұмыстарына қолданылатын негізгі стандарттар қаралады. Мұндай құжаттар «жасыл» энергия өндірудің өмірлік циклінің барлық кезеңдерінде қауіпсіздікті реттеу және қамтамасыз ету үшін қажет, бұл ретте қызметтің неғұрлым қауіпті түрлеріне, оның ішінде биіктік жұмыстарына ерекше назар аударылады. Осы негізде таңдалған елдерде талаптар мен стандарттарға сыни талдау жүргізіледі, пайдаланылатын стандарттар салыстырылады және станциялардағы биіктік жұмыстары процесінде есептеуге жатпайтын жағдайлар пайызы салыстырылады. Бұл ретте әрбір ел бірыңғай халықаралық стандарттардың талаптарын ұстанады, бірақ қажет болған кезде арнайы станциялардың белгілі бір типтері, жұмыс түрлері және т.б. үшін өзінің жеке талаптарын қабылдайды. Қорытындысында жел станцияларындағы қауіпсіздік деңгейін арттыруға ықпал ететін бірқатар проблемалық аспектілер алға тартылады.

Түйін сөздер: жел энергиясы, жасыл энергия, жел электр станциялары, биіктік жұмыстары, стандарттар, қауіпсіздік, еңбекті қорғау, жарақаттар.

БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ НА ВЕТРОВЫХ ТУРБИНАХ: КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТАНДАРТОВ ISO/OSHA/EN

[1]Л.М. Актаева, [1]А.М. Кошаева, [1]А.Б. Бекмагамбетов, [1]А.М. Рахметова, [1]Э.А. Кулмагамбетова, [2]Г.К. Даумова

[1]*Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда, Астана, Казахстан,*
[2]*Восточно-Казахстанское региональное отделение Республиканского научно-исследовательского института по охране труда, Усть-Каменогорск, Казахстан,*
e-mail: koshayeva12@gmail.com

В статье рассматриваются основные стандарты, применимые к высотным работам в ветроэнергетической отрасли. Такие документы необходимы для регулирования и обеспечения безопасности на всех этапах жизненного цикла производства «зеленой» энергии, при этом особое внимание уделяется наиболее опасным видам деятельности, в том числе высотным работам. На этом основании проводится критический анализ требований и стандартов в выбранных странах, сравниваются используемые стандарты и процент не поддающихся подсчету случаев в процессе высотных работ на станциях. При этом каждая страна придерживается требований единых международных стандартов, но при необходимости принимает свои собственные требования, специально для определенных типов станций, видов работ и т. д. В заключение выдвигается ряд проблемных аспектов, решение которых будет способствовать повышению уровня безопасности на ветровых станциях.

Ключевые слова: ветровая энергия, зеленая энергия, ветровые электростанции, высотные работы, стандарты, безопасность, охрана труда, травмы.

Introduction. The popularity of using wind turbines is growing every year, this is due to the fact that wind energy has become one of the fundamental alternatives in energy production. Wind energy does not harm the environment, its production does not emit greenhouse gases and complies with the principles of the ”green” economy, which all developing countries of the world strive to comply with. Thus, the government of many countries is currently moving away from the use of coal, oil, nuclear fuel and switching to the use of new, clean types of energy [1]. In this regard, there is a significant increase in the popularity of wind energy. Every year, the number of wind stations around the globe increases, their combined growth rate per year is about 11.6%.

At the same time, this growth is due to a number of factors, mainly the availability of financial and human resources that are used in the design and operation of installations, the achievements of scientific and technological progress, legislative support, as well as public assistance and assistance of numerous companies. However, with the development of a new industry, more precise standardization is required, as well as the development of new standards and requirements for both equipment and workers themselves. In the event of inaccuracies in these documents, violations or non-compliance with standards, some problems may arise.

With the increase in the number of wind power plants, the number of workers on them also increases, that is, the primary task should be labor protection and their health [2]. The duties and functions performed by workers at wind energy facilities are usually unique, this is due to the fact that in other industries there is no installation, assembly and maintenance of wind turbines [3]. The working environment is also unique, which provokes possible difficulties in the field of labor protection. Innovative work processes may contain new hazards that employees and administrative personnel must provide for and enshrine in the rules of conduct, as well as in the relevant documents (standards).

Wind energy is a new, modern direction in all countries, new workers may not fully understand what dangers await them when performing their duties. In addition, the technology in this area is developing quite rapidly, which can lead to a shortage of qualified personnel, and inexperienced workers create a great danger for themselves if they have not been trained and therefore can expose themselves to threats and violate safety installations.

Despite the fact that wind energy is considered quite useful for the environment, its production itself is not always useful and safe for workers. Often, at wind farms, employees can encounter dangers that ultimately lead to negative or fatal

consequences. In this regard, the study and critical analysis of safety standards in this area is very relevant, since it is necessary to point out existing problem areas and maintain a high level of labor protection. Workplaces in this area must meet all safety requirements and not have a negative impact on the health of workers.

Daily, in order to reduce the possibility of negative and dangerous phenomena on personnel working at wind farms, their maintenance and inspection are carried out. It is organized under the safest conditions, since almost all wind turbines in developed countries have a short service life, and their manufacturers claim that the percentage of breakdowns is minimal, however, information about possible problems is presented poorly and incompletely, it is mainly supplemented during operation. Also, many workers point out that the danger in this area is at the same level as in any other industry. For example, falls from a height can occur both when working in the mining industry and when working on a wind turbine.

However, it is necessary to accept and take into account other specific conditions that may arise, for example, weather conditions or being in hard-to-reach areas. The combination of such conditions and the lack of experience and necessary qualifications of workers in the field of wind energy leads to problems with their health and safety in general. Over the past decade, according to experts, accidents at wind turbines have become more frequent, and their number is directly dependent on the number of new turbines, that is, the more turbines are built, the more accidents there are.

SWIF analyzes the number and basic information about accidents and incidents at various production facilities, including wind farms. Thus, since 1970, the number of accidents has reached 2,500 units, with most of them occurring in the last 3-5 years. On average, there are about 200 accidents per year that lead to negative consequences, and safety requirements are violated. However, not all accidents are fatal; for the same period since 1970, only 213 fatal cases were recorded. They mainly occurred during the construction or maintenance of wind turbines and turbines. Other cases occurred with workers in the transport sector, they were not directly related to the production of wind energy [4].

Also, since 2012, the company began recording data on the impact of wind turbines on human health, data on noise, vibration, etc. were analyzed. It is worth noting that not only workers suffer from such impacts, but also residents of nearby settlements. In recent years, 36 requests have been submitted and processed, in which people indicated that they have a negative impact from wind turbines. It is worth noting that every year the number of requests only increases, since in 2012 only 6 people sought help, and in 2023 already 12. Many scientists believe that these figures differ from the real ones, since wind turbines can have a more detrimental effect on both workers and residents of nearby settlements.

Based on this, a more detailed study of labor protection in the field of wind energy and an analysis of standards and requirements in various countries is needed.

Materials and methods. In order to analyze the level of injuries and safety of high-altitude work at wind power plants, it is necessary to conduct a study of the standards that are used for labor protection in this area, consider possible risks, the number of injury cases, and formulate problematic aspects and directions that can be proposed to minimize possible risks and threats. As part of the scientific work, a critical analysis of the main safety standards of various countries was carried out, statistics of victims of accidents related to labor activities, including fatalities at wind power plants, were considered.

The purpose of this scientific article is to identify the existing methods of ensuring personnel safety at wind power plants in various countries, as well as to study possible problematic aspects [5].

At the same time, special methods of collecting information were used to achieve the goal: statistical analysis, with its help the number of injuries and other safety violations in the field of wind energy was considered; topographic method, with its help the location of wind power plants in a particular country was considered; monographic

method, with its help the analysis of literature on the research topic is carried out, as well as the content of standards that are applied in this area, but in different countries.

Results and discussions. Currently, there are two main aspects that can cause problems in the field of labor protection and safety at wind farms. The first aspect is related to the fact that international regulations have not been developed properly, there are problems in standardization. The second aspect is related to the inexperience of workers and their low level of training and qualifications. Let' s consider these aspects in more detail.

So, to begin with, it is worth paying attention to the training of workers in this area. As was said earlier, the wind energy industry began to actively develop relatively recently, in this regard, there is still no base of workers who would have significant experience and skills in the industry in question. Despite the fact that the number of jobs and graduates with similar training areas is growing every year, there is still a shortage of experts. The rapid development of the industry does not correspond to the speed of personnel training, many inexperienced workers can participate in the process of casing installations, turbines, which ultimately leads to safety violations and injuries [6]. The main reason that can lead to safety violations and injuries to workers with little experience is the lack of a single standard that would regulate the practical skills of workers in the wind energy sector. Currently, there are many different standards that define the rules of conduct for workers, but there is no common one that would regulate safety rules in the wind energy sector. Small companies do not have the necessary funds to train workers and familiarize them with various standards when working on land or at sea, in this regard, they have a low level of training and qualifications, which entails possible violations. Larger companies that have funds for training and familiarizing workers with all standards can often neglect this, since time is needed for training, and money can be directed to a more attractive direction.

However, all personnel who are at the wind farm are required to know the minimum safety requirements, which can be useful in various areas of work. Let' s consider the safety requirements in more detail.

The first group of requirements relates to activities at height. In this case, the employee must know the safety precautions when working with turbines, take into account all the risks and dangers that he may encounter. He must also know the rules for handling personal protective equipment and the rules of conduct in an emergency. The employee must have rescue and evacuation devices. The second group of requirements includes the rules of conduct in the water, the employee must know how to move from a ship to a pier or to a wind turbine, how the global marine communication system is used, what personal protective equipment exists and how they are used in the water. The third group includes the rules for manual handling of goods, it includes knowledge of the methods of safe transportation of goods and special equipment for work, identifying aspects that can negatively affect health and cause injury, ways to prevent traumatic events and solve problems in the field of wind energy associated with improper movement of cargo and equipment [7]. The fourth is the standard rules for first aid, this includes knowledge and skills in providing assistance in case of injuries and illnesses, rules of conduct in emergency situations, methods of providing first aid to victims. The final group is behavior in case of fire hazard, workers must know the rules for preventing fires, be able to identify sources of ignition and quickly respond to a possible fire, assess the consequences of a fire. In general, it is worth noting that all companies operating in this industry strive to provide their employees with all the necessary knowledge, skills and abilities, with which they can not only perform assigned tasks, but also ensure a high level of safety. For this, special courses, training and retraining programs, training programs can be created, but at the same time, they are not always sufficient in full. According to scientists, in order to better improve the level of knowledge of personnel in the field of safety, it is necessary to create special courses on the basis of research institutes that would

contain programs aimed at training workers in the wind energy sector. Within the framework of such programs, courses on the operation of turbines, their maintenance and safety at stations can be organized.

With the development of the wind energy sector, more and more experts in this field appear, with their help it is possible to reduce the shortage of unskilled personnel, transfer useful experience and information. Also, it is worth considering the creation of a special unified standard that will help in training new specialists. In addition, another solution for attracting highly qualified personnel may be their transition from other related industries. Such specialists will also be in demand in wind energy, since they will have experience and all the necessary knowledge. An example can be workers from the oil or gas sector, since their working conditions are similar to the area in question. All the presented conditions will have a positive impact on the wind energy industry in one way or another [8,9].

Next, it is worth moving on to considering specific requirements and standards that can be used in the field of labor protection in the framework of wind energy in different countries.

To begin with, it is worth paying attention and considering what standards in the field of safety of high-altitude work at a wind power plant are adopted in Kazakhstan. As in other developed countries, the government of Kazakhstan is aimed at developing a ”green” economy, in this regard, a decision has also been made to develop the wind energy sector. Thus, with the help of investments of about 100 billion dollars, the development of a new type of energy in the country began in 2014. In order for the new industry to bring only a positive effect within the framework of the development program of the Republic of Kazakhstan and the joint project of the Ministry of Energy and Mineral Resources of the Republic of Kazakhstan, special sites for the construction of wind power systems (TPS) with a good wind climate, located in various regions of Kazakhstan were selected (Figure 1).

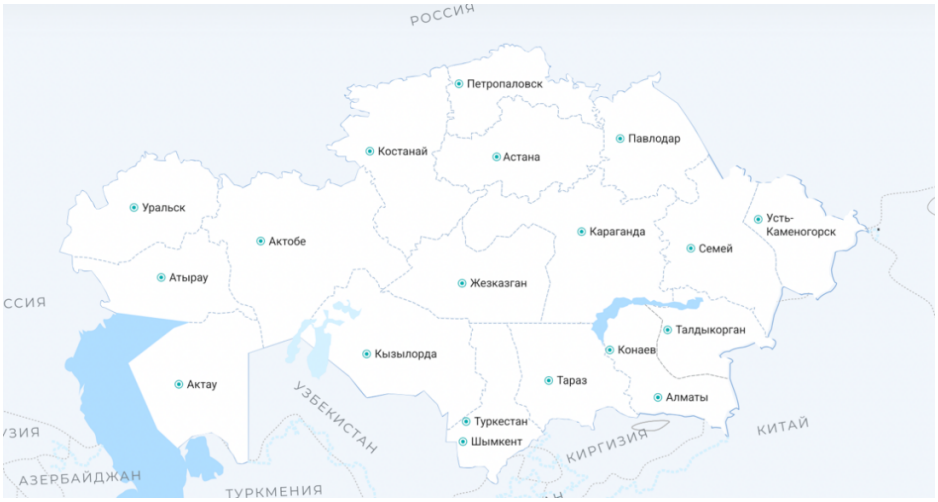


Fig.1 - Location of wind turbines in the Republic of Kazakhstan

Also, as part of the study, energy scientists developed a special atlas, which indicates areas with the strongest wind flows. An approximate assessment of the wind energy resources of Kazakhstan is included in the atlas of the main winds, it indicates that in ”50,000 sq. at a height of 80 meters on an area of more than km, the average annual wind speed is more than 7 m / s. Thus, based on the presented data, investment projects were prepared, which were then implemented and thereby new wind stations were built. So, over time, their total capacity reached $ 3 billion per year. kWh, these stations can generate about 1000 MW of electricity. ”Based on the indicators of the

program, which is aimed at the development of this area, it follows that by 2030 the capacity of these installations should reach about $ 5 billion per year. kWh. Noticeable prospects are due to the fact that the Republic of Kazakhstan is rich in winds, it is necessary to use them in the right direction and produce ”clean” energy.

According to some data, the theoretical wind generator of Kazakhstan amounted to about 1820 billion dollars kWh.hour per year. ”Considering the power density of the wind power plant at the level of 10 MW / km2 and the presence of significant free spaces, it is possible to predict the possibility of installing a wind power plant capacity of several thousand MW in Kazakhstan. The average annual wind speed in the Dzungarian Gate area at a height of 50 meters is 9.7 m / s, and the wind flow density is about 1050 W / m2. This allows you to produce 4400 kW per year. Here, a special place is occupied by the electric power purpose. The availability of free space is about 1 billion dollars allows you to install a wind power plant capacity of several MW with an annual output of kWh electricity is required. Currently, a pilot thermal power plant with a capacity of 5 MW is being built in this area. If the experience is successful, the operational capacity of the thermal power plant can be increased to 50 MW.”

As in other developed countries, wind energy does not cease to lose its momentum of development and in Kazakhstan, following foreign experience, more and more construction of new wind installations is planned, the first stations were launched in the capital of the Republic of Kazakhstan, then, having shown high results, construction continued in other areas, so stations were opened in Mangistau and Akmola regions [10]. Thus, currently in the Republic of Kazakhstan there are about 83 stations, the total capacity of which reaches 1410 MW.

In order to organize the work of these stations in the country, one of the leading and successful companies currently operates, VISTA INTERNATIONAL LLP. In 2014, it implemented the first project in the field of wind energy, so with its help, the Kordai wind power plant was put into operation. Today, this station is considered advanced, it is equipped with the most modern and innovative equipment, it also has the support of various ministries and departments, including the Ministry of Industry and New Technologies of the Republic of Kazakhstan (MIINT). To build the station, the company’ s employees considered numerous foreign experiences, to work out issues related to safety, equipment, technology, they adopted the experience of countries such as China, Holland and Germany. Studying the experience in foreign countries, calculating all the costs and logistics, a wind power plant was built in Kazakhstan. At the same time, it had a positive effect not only on the environment, but also provided an opportunity for the employment of a large number of citizens. Thus, based on this experience, other wind power plants were put into operation in the country. At the same time, the main aspect for their successful work remains occupational health and safety of high-altitude work. High-altitude work at wind farms is usually associated with the installation, maintenance and repair of equipment located at a considerable height, which requires special attention to safety issues. The main risks include falls from height, which can occur due to insufficient insurance, improper use of personal protective equipment or unexpected exposure to external factors such as strong wind or rain. For example, strong gusts of wind can lead to loss of balance and falls, which makes it necessary to take wind speed into account when planning work at height. It is also important to consider that low temperatures can cause frostbite and reduce the performance of employees, which requires them to be especially careful and use protective clothing. In addition, precipitation such as rain or snow can worsen the grip of shoes on the surface, increasing the likelihood of slips and falls [11]. Workers must be trained to recognize adverse weather conditions and take the necessary precautions, such as the use of special equipment and personal protective equipment. It is also worth noting that climate change as a result of global warming may increase the frequency of extreme weather events, which requires a revision of safety standards and adaptation of working practices at

height.

Taking climate factors into account in the process of risk assessment and planning of work at wind farms is becoming essential to ensure the safety and health of workers, as well as to effectively perform tasks in a changing environment. An important aspect is the need for regular monitoring of meteorological conditions. The use of modern technologies, such as weather stations and weather forecasting systems, allows for early assessment of risks and the adoption of measures to minimize them. For example, if strong winds are expected, work at height may be suspended until conditions improve.

Practical risk analysis and assessment in the context of high-altitude work at wind farms in Kazakhstan require an integrated approach that takes into account both the specific conditions of the region and the general trends of the transition to a green economy. An important aspect is the identification of risks associated with working at height, including both physical and organizational risks. In order to assess how safety is organized at wind farms in the Republic of Kazakhstan, it is necessary to first analyze the total number of workers at all facilities (Figure 2).

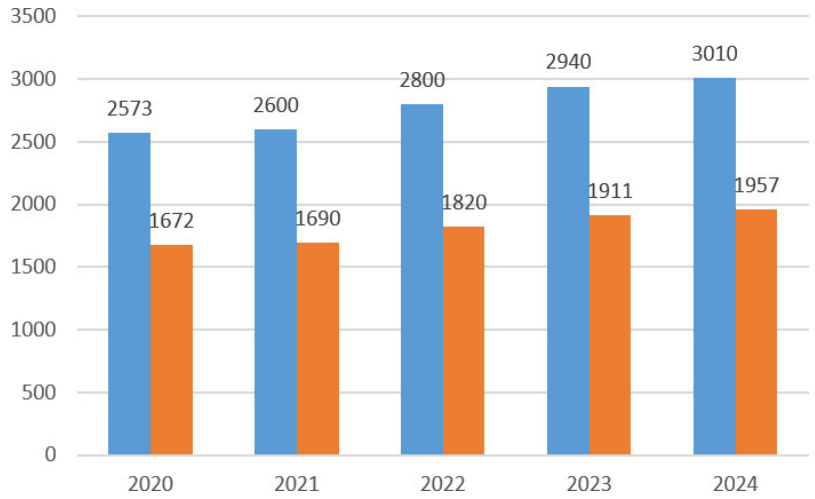


Fig.2 - Total number of personnel and those engaged in high-altitude work in the Republic of Kazakhstan, people

Thus, it can be noted that every year there is a steady increase in the number of personnel, while about 65% of the total number is engaged in high-altitude work, this is the personnel who are directly involved in servicing turbines, their repair and daily inspection. In order to ensure the safety of their activities in the field of labor protection, certain standards in the field of wind energy have been developed. Further, it is worth analyzing in more detail the content of the presented safety standards and identifying how rationally they are applied in practice. The first standard is the IEC 61400-2:2013 Standard for low-power wind turbines. Often, when characterizing wind turbines, many imagine huge turbines that are located at the height of a twenty-story building, however, over time, slightly different installations have also begun to gain popularity, they are slightly smaller in size, mainly such installations are located near residential buildings, while their power is also lower than that of large installations. Such devices are covered by the text of the IEC 61400-2:2013 standard ”Wind turbines - Part 2: Low-power wind turbines” [12].

This standard is necessary to regulate the safety rules for handling such small installations. It specifies the requirements for the quality of materials, recommendations for the efficiency of their use, installation, maintenance, and operation rules. In addition, the standard contains

safety requirements for the subsystems of these installations, including a description of how the protection mechanism is arranged, how the supporting structures, foundation, connections, and much more should be installed.

Next comes the ASTM D5741 standard, it is necessary to correctly select the surface and location of the wind turbine. In order for the installation to produce maximum power, it must be directed to the place where the strongest air flow is located. With the help of this standard, it is possible to estimate the wind at the surface and at a certain height. In addition, this standard defines the conditions under which the operation of turbines is possible, and which weather conditions are considered unsuitable for its maintenance. Also, this document can be applied in other areas of industry and in agriculture. To meet all the requirements, in accordance with the standard, the company must purchase special devices for changing. wind speed, temperature, etc., their presence guarantees the reliability of the result and the correct implementation of the theoretical aspects specified in this act.

Other standards, which are developed on the basis of consensus and can be applied to other areas, also make an important contribution to the development of wind energy. One of these is ISO 29404:2015 and ISO 29400:2015, they are necessary for the correct operation of offshore wind turbines. Such installations are considered the most complex, they are located in the open sea or ocean, and they also assume the highest efficiency [13].

Currently, in the Republic of Kazakhstan, it is planned to install similar wind turbines in the Caspian Sea, the frontal plans should assume that work in this area should be carried out only by experts in the field of wind energy, who are familiar with all the safety rules not only on the shore, but also in the water. In order to increase the level of safety in this case, knowledge of the ISO 29404:2015 Standard ”Ships and marine technology - Offshore wind energy - Data flow within the supply chain” is required. This standard defines the content and format of messages that allow monitoring the physical movement of wind turbines, as well as their components, both during the construction phase and at the start of operation. These requirements and messages can be useful not only at the beginning of work on a wind farm, but also at the time of its breakdowns and maintenance. The ISO 29404:2015 standard can be used by all companies and their employees when performing activities with wind turbines, turbines and other components. However, the standard does not apply to substations. A slightly different ISO 29400:2015 Standard ”Ships and marine technology - Offshore wind energy - Port and marine operations” is also necessary to ensure safety during work with offshore wind turbines. It defines the procedure for offshore operations, provides recommendations for the design of various installations associated with the deployment or repair of offshore helicopters. In particular, it contains requirements for the design and use of equipment, how systems and equipment are analyzed, methods and procedures for the safe execution of work on offshore wind turbines.

The next Standard is IEC 60076-16 Ed.1.0 b:2011 for power transformers for wind turbines. Transformers are the main and indispensable component of each wind farm, they are necessary so that the generated energy obtained by wind can be converted into alternating current, which is then used in the central network. Such devices are covered by the IEC 60076-16 Ed.1.0 b:2011 ”Power transformers - Part 16: Transformers for wind turbines”, despite the fact that basically all safety requirements concern high-altitude work performed with turbines, it is worth remembering that improper operation and maintenance of transformers can also lead to negative consequences for both workers and the population of the country [10].

The final standard that is used in this area is Standard AS 4959-2010 ”Measurement, prediction and evaluation of noise from wind turbines”, it also does not define safety requirements for high-altitude work, but is no less important, since it defines noise and vibration requirements, their excess can also have a negative impact on workers and residents of the country.

Thus, it can be said that in the Republic of Kazakhstan a large number of standards are used that are aimed at improving safety when working

with wind turbines at height. However, despite this, injuries and other accidents occur. According to the National Statistics Bureau of the Republic of Kazakhstan and information from the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan, over the past 10 years, about 18 thousand people have been injured in the industrial sector while performing assigned tasks. Of these, 2,356 people were injured from falling from a height, of which about 96 people were engaged in the maintenance and repair of wind turbines. A significant number of victims is due to the fact that many workers do not have sufficient knowledge and experience when working at wind farms and high-altitude work, do not comply with safety requirements and are not familiar with the applicable standards.

Let us consider the dynamics of injuries and deaths during high-altitude work at wind farms in the Republic of Kazakhstan (Figure 3).

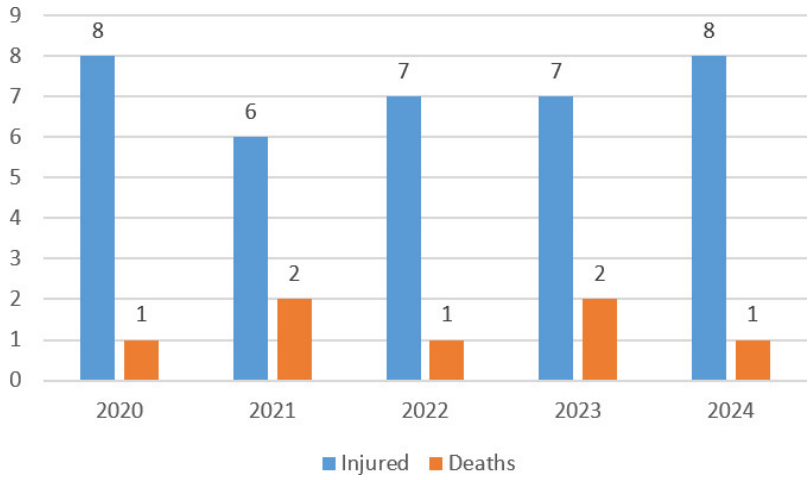


Fig.3 - Number of victims, including fatalities, during high-altitude work at wind farms in the Republic of Kazakhstan, people

That is, it can be said that about 0.4% of wind farm workers are injured and neglect safety requirements when performing high-altitude work. The most common cases of injury or death are falls from height, and falls from different heights and to different depths (in the case of wind farms located at sea) can cause harm to a person. In addition, injuries are also possible when falling on a flat surface of the same level. Falls account for more than 50% of all accidents during high-altitude work at wind farms. Similarly, falls from height and to depth can lead to fatal consequences.

Another group of factors that leads to injuries during high-altitude work is associated with damage to mechanisms; injuries occur when working with faulty turbine blades. Also, this group can include cuts and abrasions that occur when in contact with faulty tools, burns from contact with harmful substances. In addition, other types of injuries include those associated with improper actions or failure to use personal protective equipment (PPE) [14]. For example, in practice in the Republic of Kazakhstan there were cases of injury to a worker due to wear of a safety rope and slings.

In this case, it is worth saying that workers at wind farms in the Republic of Kazakhstan are aware that work is not provided for during bad weather, in this regard, injuries associated with wind and precipitation are quite rare. That is, measures in this area are being implemented in full and even those employees who have been hired quite recently are familiar with the standards in this area in detail.

The second country chosen for the analysis of safety standards was the United States. Thus, OSHA standards are currently being implemented in the country, they are rules that all organizations and

employees in them must follow in order to protect themselves from emergency situations. They are based not only on theoretical aspects, they are based on practice and can be supplemented and improved. OSHA standards are divided into several groups: general industry, construction, marine transport, agriculture. They are mandatory for implementation throughout the country, but each state can offer its own requirements for safety and labor protection at wind farms, in particular.

It is worth saying that, unlike Kazakhstan, wind energy is much better developed in the USA, there are a large number of stations that are located both at sea and on land. Also, in the USA, in general, the ”green” economy is better developed, the use of new types of energy for electricity production in the country began in the 1970s, when the government decided to combat the energy crisis with new technologies. Already in 1974, a special program was created that involved research in this area, and in 1980, the world’ s first wind farm was launched [15].

Today, in the USA there are about 9 of the largest wind farms in terms of capacity, they are located mainly in the states of California and Texas, but there are also a large number of small stations that are located in places with appropriate climatic conditions. Thus, the map of the location of wind turbines in the USA looks like this (Figure 4).

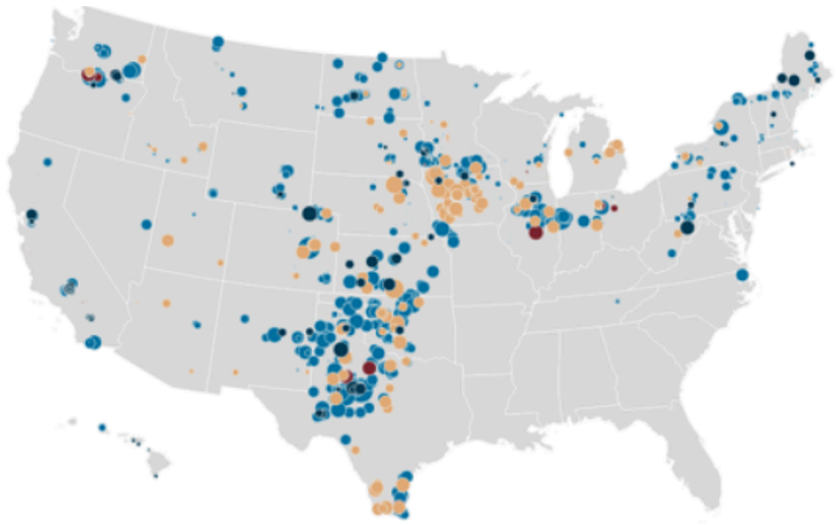


Fig.4 - Location of wind farms in the USA

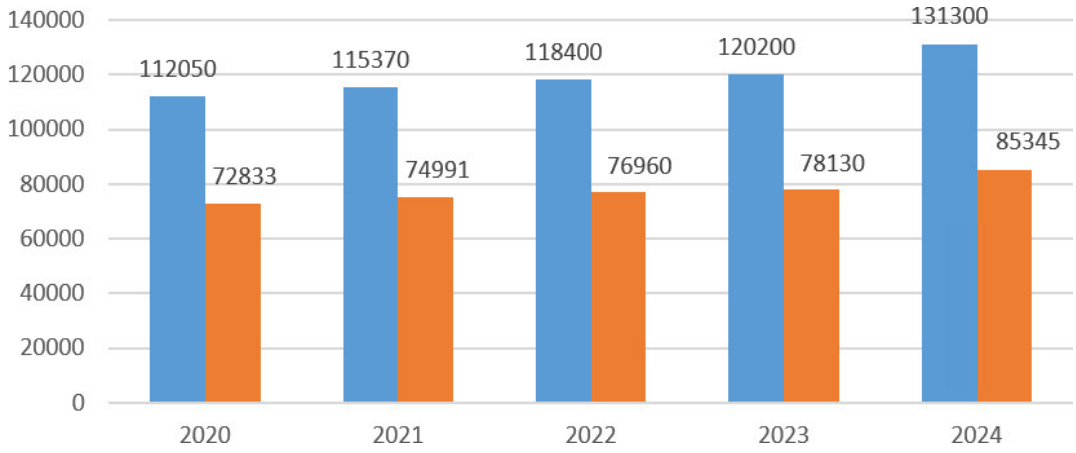


Fig.5 - Total number of personnel and those engaged in high-altitude work in the USA, people

Based on the number of wind farms, it is worth noting that they employ significantly more workers than in the Republic of Kazakhstan and other European countries. Thus, according to statistics, in 2024, more than 131 thousand people worked in this sector, which is 11 thousand more than the previous year. That is, we can say that this industry in the United States is attractive for employment, while out of the total number, about 65-70% of workers are engaged in high-altitude work (Figure 5).

The increase in the number of workers in this sector is due to the fact that new wind farms have been launched and are planned to be launched in the country between 2022 and 2026. The continued growth in the number of stations entails the need for new labor. It is worth noting that labor protection in the United States is carried out quite well, employers adhere to the requirements of the OSHA standard and communicate them to their employees, who undergo annual recertification and pass exams on knowledge of safety standards.

Thus, according to OSHA standards, the following safety requirements apply to high-altitude work at wind farms in the United States:

1. ”Maintain vertical and horizontal lift range limits. Before using the lift, operators must read and understand the manufacturer’ s instructions.

2. Control over power lines. Lift operators must be at least 10 meters away from the widest power lines.

3. Use of fall protection equipment. These include seat belts, shock-absorbing slings, and platform guards.

4. Stabilization of the lift. This is important, especially when working in windy conditions. At wind speeds over 64.4 kilometers per hour (40 miles per hour) or 48.3 kilometers per hour (30 miles per hour), if the work is related to the processing of materials, the employer is obliged to take measures to protect employees from the dangerous effects of the wind.” In addition, the GWO (Global Wind Organisation) standard is also used, it includes requirements related to working at height, actions in case of fire hazard, first aid, survival at sea, and so on. The main requirement is that when working at high-rise facilities, workers must be equipped with special protective equipment, a fencing system, a network protection system must be provided, workers must be equipped with personal protective equipment. When performing repair work or servicing turbines at wind farms, workers must generally be guided by and adhere to OSHA standards, according to which special guards must be provided when working at height, and in their absence, each worker must have personal protective equipment. With the help of handrails or netting, as well as personal protective equipment, it is possible to avoid falls or other injuries [9].

Also, workers often get injured not only when directly working with turbines, but when climbing to them on fixed ladders. ”When climbing a fixed ladder (not 20 feet long) on these towers, a ladder equipped with a cage or well shall have a landing platform every 30 feet; a ladder not so equipped shall have a landing platform every 20 feet. Ladder safety devices may be used on wind towers longer than 20 feet in place of cage protection. In these cases, a landing platform is not required.” These requirements are also set out in the OSHA standard.

However, despite the fact that there are safety requirements in the United States, similar to other countries, there are often unfavorable incidents, including injuries and fatalities. Thus, over the past 2024, there were 240 accidents and incidents in the United States that resulted in injuries to wind farm workers. Of these, 32 cases were associated with strong winds, 9 with lightning strikes, another 4 with tornadoes, cold snaps, storms and cyclones. Also, 35 cases were caused by safety violations, 9 cases with problems in electrical voltage. At the same time, the number of fatalities was 5 people (Figure 6). In this case, the percentage of injuries from the total number of workers at high-rise wind farms is about 0.3%.

Based on the increase in injuries and accidents, wind energy companies are deciding to conduct additional training and instruction for employees. Since it is the training of new employees and monitoring their activities that will help to avoid falls, injuries and other injuries in the future. Also, it is important to monitor weather conditions: in 2024,

a tornado destroyed about 10 turbines in the United States; in 2022, lightning struck several stations, which led to a fire and fatalities. Thus, we note that it is necessary to pay attention to safety in the field of labor protection in the event of various natural disasters, the evacuation of employees during a tornado or storm in particular [16].

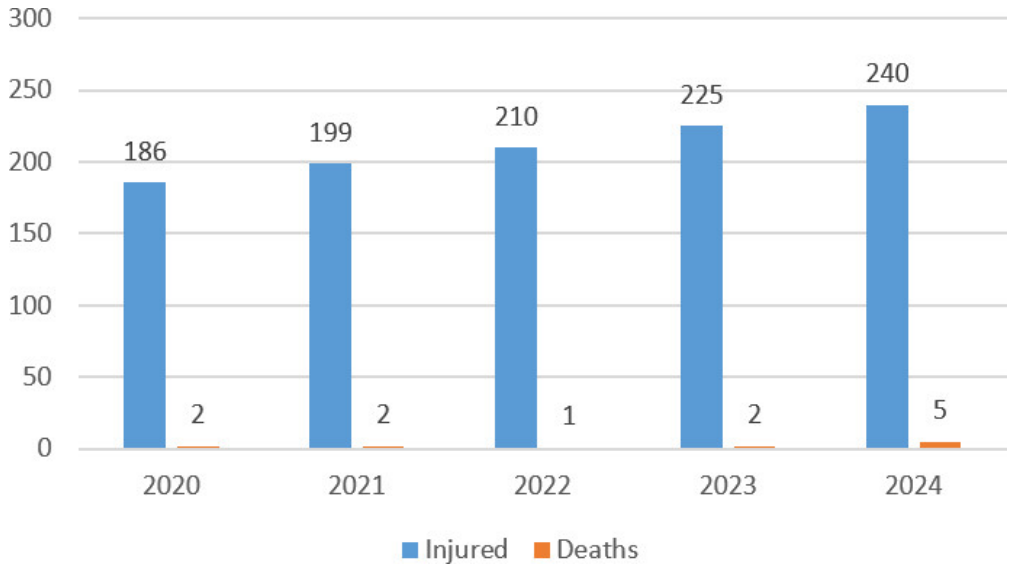


Fig.6 - Number of injured, including fatalities, during high-altitude work at wind farms in the USA, people

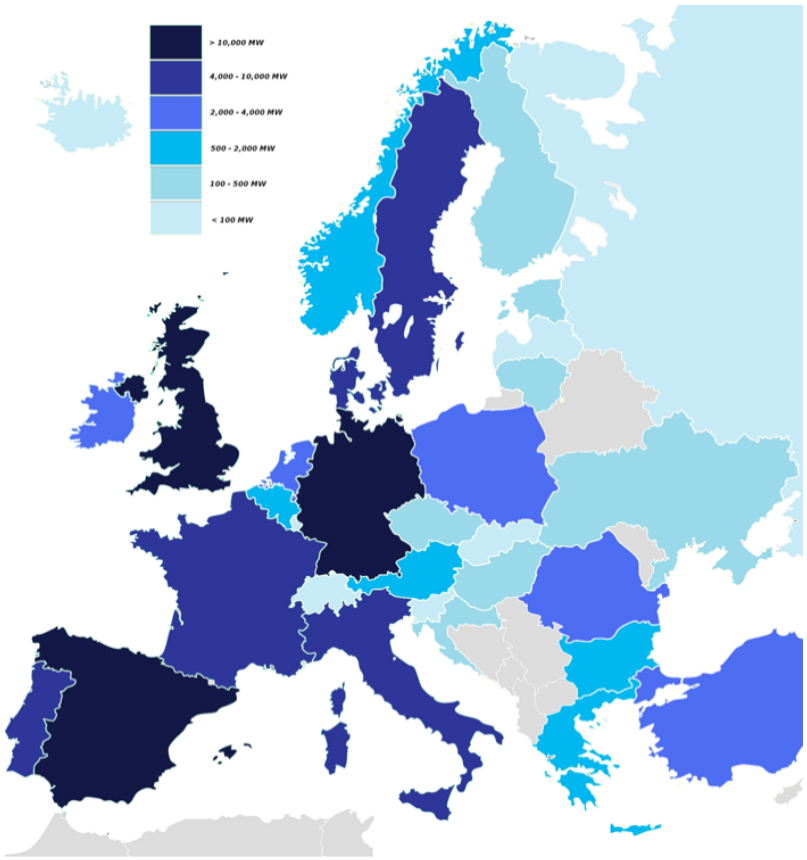


Fig.7 - Wind farm locations in Europe

Also, unlike the first example, where it was said that basically all workers do not have the proper qualifications and are quite young, the United States has an aging workforce. Many professions in the wind energy industry require not only physical strength, but also knowledge, including work at height, which includes turbine repair and other maintenance of wind turbines. This activity often has a negative impact on the health of the staff, and then on their productivity.

Thus, elderly and mature workers are no longer able to perform the assigned tasks, but at the same time, they have extensive experience, which increases their expertise in all matters. In this regard, to reduce the likelihood of accidents with elderly workers, it is necessary to develop a schedule so that they can rest and not receive additional stress. Also, it is necessary to give recommendations on changing professions, moving to administrative staff or to the company office.

The third example that will be considered in this work is the European experience. It is worth saying that the countries that prevail in the production of ”clean” energy in Europe are Germany, Great Britain and Spain (Figure 7).

To begin with, let’ s look at the safety standards that are used in all European countries when performing high-altitude work at wind farms [17].

The first standard is the European standard EN 50308:2004 ”Wind turbines. Protection measures. Requirements for design, operation and maintenance”, it is considered the most complete, since it contains all the necessary labor protection conditions in the field of wind energy, and also considers all aspects from the moment of transportation of turbines to the place of their operation. Let’ s look at the main aspects of this standard:

1. The design of wind farms should be carried out in such a way as to reduce all possible risks to the health of workers and citizens.

2. The edges of turbines that are publicly accessible should not have sharp corners, uneven surfaces and should not cause injury to workers.

3. Operational control of the turbine should be carried out without climbing to it.

4. Control panels should be located in a place that prevents accidental actions or unintentional errors of personnel.

5. During repair work or maintenance of turbines, blocking and forced shutdown must be provided.

6. All safety measures must be observed to avoid accumulation of hazardous toxic substances, flammable or explosive gases in any areas of the wind turbine [8].

It can be said that this standard, unlike those discussed earlier, contains the most complete and detailed list of safety precautions; familiarization with this standard can reduce the level of injuries and other accidents at work. However, its requirements do not apply to installations that were put into operation before 2004.

Also, when working at wind farms in Europe, quality standards ISO 9001, ISO 14001 and OHSAS 1800 are actively used. These standards include general requirements for labor protection, quality management, management, however, they do not directly relate to wind energy, but manufacturers strive to comply with them. Specifically, the IEC 61400 series applies to wind turbines; this standard covers requirements for turbine design, reliability, service life, and installation. It contains requirements for all aspects of the design, construction, and operation of an offshore wind farm. This standard is necessary so that the turbines perform their functions as reliably as possible during operation. In addition, the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) operates in Europe, which was organized back in 2009, and courses and seminars are currently held on its basis, which are also useful for health protection. An example is the seminar ”Making Green Workplaces Safe” within the framework of the ”Prevention through Design” initiative. At such meetings, specific problems in the field of labor protection are discussed and new directions for minimizing risks in production are proposed. Thus, one of the new issues is the need for uniform standard codes for the entire life cycle of wind turbines [18].

In addition to this organization, the European Wind Energy Association (EWEA) operates in Europe. Its mandate includes training new employees, familiarizing them with safety rules in the industry and in specific areas, which helps reduce risks and injuries. The organization publishes all safety requirements that are relevant for managers and employees, with special attention paid to first aid procedures. EWEA documents contain requirements that relate to safety both on water bodies and on land. EWEA proposals and organization documents can be considered international and used for labor protection in other countries. Many organizations that install and operate wind turbines are also interested in developing and using safety standards. An example is RenewableUK, which has created its own labor protection forum, which contains various training courses, a description of currently available standards and requirements. In addition, the G9 Wind Energy Health and Safety Association (G9) has been created in Europe. Its main goal is safety and labor protection in the wind energy industry. To achieve the goal, the association' s management allocates resources for conducting courses and training specialists, thereby reducing the risk of injuries and other unpleasant situations. This association, in addition to considering safety in the context of wind energy, also pays attention to offshore operations that are associated with wind turbines at sea or in the ocean and lifting operations that are associated with construction.

It is worth noting that despite a fairly wide list of requirements and standards in Europe, there is a shortage of articles on the safety of wind turbines in the marine space, and there are also no requirements for checking the durability of installations. For example, at present, a standard has not been developed that would apply to medium-sized turbines; standard requirements are used for them, similarly, there are no requirements for small wind turbines. Despite the fact that each company in this area is able to develop its own safety requirements, they need to be unified within the framework of national or international standards. Since with their help, safe work is possible.

As an example of a European country, it is worth considering the experience of Great Britain and identifying the number of injuries and other accidents when working at height. Thus, based on SafetyOn data, the following information was obtained on the total number of incidents at wind farms (Figure 8) [19].

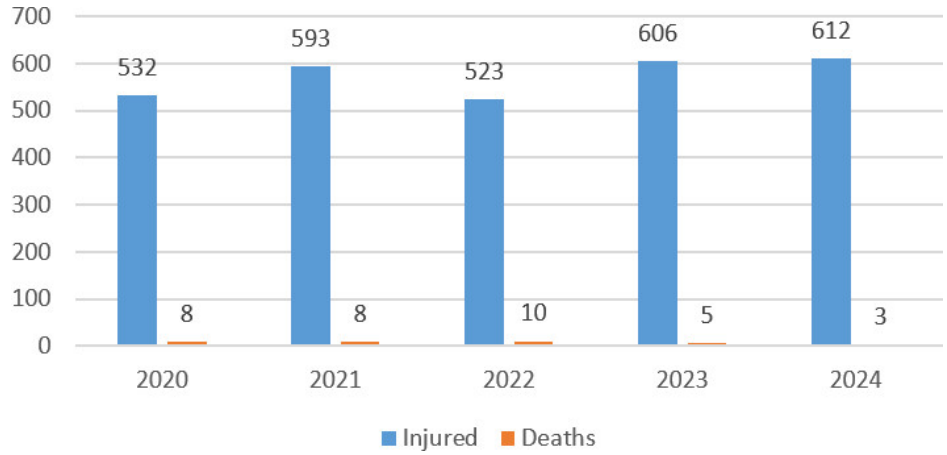


Fig.8 - Number of casualties, including fatalities, during high-altitude work at wind farms in the UK, people.

At the same time, according to statistics, the nature of accidents is not specified, whether they occurred while working at height during maintenance of wind turbines or not. However, the data show that work at stations has a high risk to the health and safety of personnel. Workers must understand that their health protection is exclusively in their hands, ignoring safety requirements cannot lead to positive consequences.

Table 1 - Comparative analysis

Country	Standards	Problem areas	Number of injuries and accidents	Conclusion on the effectiveness of the standard
Republic of Kazakhstan	IEC 61400-2:2013 IEC 60076-16 ASTM D5741 ISO 29404:2015 ISO 29400:2015 AS 4959-2010	1.Lack of requirements for different types of wind turbines. 2.No mandatory safety training for young professionals. 3.Fragmentation of standards and lack of clear coordination between them create difficulties in their application.	0.4% of all those engaged in high-altitude work	The most common cause of injury or death is a fall from a height. The second group of factors - injuries occur when working with faulty turbine blades (cuts and abrasions). Other types of injuries include those associated with improper actions or failure to use personal protective equipment (PPE). For example, in practice in the Republic of Kazakhstan there were cases of workers being injured due to wear of a safety rope and slings.
United States of America	OSHA Standard GWO (Global Wind Organization) Standard	1.Safety precautions for emergencies (storm, tsunami) are not fully developed. 2.Low level of awareness of risks among older workers.	0.3% of all those engaged in high-altitude work	Injuries are associated with strong winds, lightning strikes, tornadoes, cold snaps, storms and cyclones. Also, most cases of injuries are caused by safety violations, problems with electrical voltage.
Europe (Great Britain)	European standard EN 50308:2004 ISO 9001 ISO 14001 OHSAS 1800	1.Lack of unified requirements for fire hazard. 2.There is a shortage of articles devoted to the safety of wind turbines in the marine space. 3.There are no requirements for checking the durability of installations.	0.4% of all those engaged in high-altitude work	The most common occurrence that leads to injuries and other accidents is turbine blade failure, followed by fire.

It is worth saying that the most common phenomenon that leads to injuries and other accidents is a turbine blade breakage. Fire comes in second place, on average, about 50 fires occur annually at various stations. At the same time, turbine operators do not conduct a sufficiently accurate inspection using mechanical means, which ultimately aggravates the situation. In this case, the number of victims is about 0.4% of the total number of workers.

Thus, in order to systematize the information presented in the conclusion, it is worthwhile to make a comparative analysis of the standards considered in different countries and draw conclusions regarding their effectiveness in application, comparing them with the general level

of injuries and other accidents during high-altitude work at wind power stations (Table 1) [20].

That is, it can be said that the standards governing the performance of high-altitude work require constant updating and adaptation to modern conditions and technologies in all countries. In particular, the study highlights the current problems associated with the insufficient effectiveness of existing standards, which can lead to increased risks for workers at height [21].

Conclusions. Thus, based on the analysis of the number of injuries and accidents at heights within wind stations, we can identify some trends and main problem areas that are inherent in all the countries considered. The main problem is that technical progress in the wind energy industry is moving somewhat faster than the development of new safety standards, and therefore even experienced workers can be injured by improper operation, repair or maintenance of the turbine. It can also be argued that the hazards found in wind power plants are not too different from those that exist in other industries today (for example, falls from height, manual handling), however, it is necessary to take into account all the unique conditions that are present in the wind energy industry, and therefore the use of previously adopted safety standards and requirements for other industries is not always appropriate and effective.

In this regard, in order to reduce injuries and accidents in the work of wind turbines in the Republic of Kazakhstan, it is recommended to adopt the experience of standardizing the rules of both the United States and European countries.

It is necessary to create a specific standard that will specify all the requirements for labor protection, as well as standards for each group of wind turbines. For European countries, it is also recommended to practice actions in case of fires, since some principles of fire safety equipment of oil platforms and other energy facilities can also be applied to turbines. For the US, it is worth paying more attention to the occurrence of natural disasters and practicing storm safety rules with employees. For all countries, it is preferable to study and implement safety training for h igh-altitude work.

The basis can be the courses of the World Wind Organization (GWO). These standards include modules on working at height, fire safety, first aid, and other topics.

Funding. *The article presents the results of scientific research obtained during the implementation of a scientific and technical programme within the framework of programme-targeted financing of the work of the Republican Research Institute for Occupational Safety and Health of the Ministry of Labour and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan (IRN BR22182667) on the topic ”Working conditions and occupational risks: classification, categories and groupings in the context of the transition to the “Green Economy””.*

Литература

1. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам республики Казахстан // Power technology. URL: https://stat.gov.kz/ru/industries/social-statistics/stat-medicine/spreadsheets/.-Дата обращения: 21.06.2025.

2. Husseini T. Golden hour: the paramedics saving lives on offshore windfarms // Power technology. URL: https://www.power-technology.com/features/golden-hour-paramedics-saving-lives-offshore-windfarms/. -Дата обращения: 21.06.2025.

3. Гордиенко Д., Мордвинова А., Шебеко Ю., Лагози А., Некрасов В. Пожарная безопасность морских стационарных платформ для добычи нефти и газа на континентальном шельфе // Инженерная защита научно-практический журнал. URL: http://territoryengineering.ru. -Дата обращения 21.06.2025.

4. Лебедева Е.О., Матузова С.Ю. Особенности обеспечения индивидуальной безопасности при доставке персонала на нефтегазодобывающие платформы арктического шельфа // Международный

научно-исследовательский журнал. -2014. - №1(20).- С.74-76.

5. Wind energy’ s frequently asked questions (FAQ). URL: https://www.ewea.org/wind-energy-basics/faq/ -Дата обращения: 21.06.2025.

6. Wu X., Hu Y., Li Y., Yang J., et al. Foundations of offshore wind turbines: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. -2019. -Vol.104. -P.379–393. DOI 10.1016/j.rser.2019.01.012.

7. BARD Offshore Wind Farm. -2023. URL: https://www.4coffshore. com/windfarms/bard-offshore-1-germany-de23. -Дата обращения: 21.06.2025.

8. What if one of the key solutions to fighting climate change was in our ocean? /GWEC. -2021 URL: https://gwec.net/offshore-wind/. -Дата обращения: 21.06.2025.

9. Global Offshore Wind Technical Potential/World Bank Group. -2023 URL: https://datacatalog. worldbank.org/search/dataset/0037787. -Дата обращения: 21.06.2025.

10. International Renewable Energy Agency, International Standardisation in the Field of renewable Energy. -2013. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2013/International_Standardisation_-in_the_Field_of_Renewable_Energy.pdf. - Дата обращения: 21.06.2025.

11. International Qualification & Training Center. // GWO BST Occupational Safety Training. URL: https://iqtc-riga.com/. - Дата обращения: 21.06.2025.

12. European Technology & Innovation Platform on Wind Energy (ETIP Wind). Strategic research and innovation agenda 2018 // European Technology & Innovation Platform on Wind Energy. -2018. URL: https://etipwind.eu/library/reports/.- Дата обращения: 21.06.2025.

13. Ярош В. А., Ефанов А. В., Привалов Е. Е., Ястребов С. С. Электрические станции и подстанции. Часть II : лабораторный практикум /Директ-Медиа. - 2019. - 91 с. ISBN 978-5-4475-5320-3.

14. Гурин С.И. Пропаганда охраны труда // Руководитель автономного учреждения. -2011. -№ 4.

15. Energy Institute. -2023. URL: https://www.energyinst.org/technical/ publications/topics/offshore-safety/g9-2013-incident-data-report. - Дата обращения: 21.06.2025.

16. Simone Peter. Women in wind energy // Women of Wind Energy Deutschland e.V. URL: http://www.womenofwindenergy.de. - Дата обращения: 21.06.2025.

17. WindEurope. Health & safety in the wind industry. URL: http://www.ewea.org/policy-issues/health-and-safety/gwo-standards/. - Дата обращения: 21.06.2025.

18. Moore J., Bullard N. BNEF Executive Factbook. Power, transport, buildings and industry, commodities, food and agriculture, capital //BloombergNEF. -2021. -100 p.

19. RenewableUK. Health and safety on offshore windfarm // RenewableUK. URL: http://www.renewableuk.com/en. - Дата обращения: 21.06.2025.

20. Offshore Wind Technical Potential. Analysis and Maps. URL: https://esmap.org/esmap_offshorewind_tech-potential_analysis_maps. - Дата обращения: 21.06.2025.

21. Castro-Santos L., Diaz-Casas V. Floating offshore wind farms /Springer InternationalPublishing. - 2016. - 193 p. DOI 10.1007/978-3-319-27972-5.

References

1. Bjuro nacional’ noj statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniju i reformam respubliki Kazahstan // Power technology. URL: https://stat.gov.kz/ru/industries/social-statistics/stat-medicine/spreadsheets/.-Data obrashhenija: 21.06.2025.[in Russian]

2. Husseini T. Golden hour: the paramedics saving lives on offshore windfarms // Power technology. URL: https://www.power-technology.com/features/ golden-hour-paramedics-saving-lives-offshore-windfarms/.- Date of access:21.06.2025.

3. Gordienko D., Mordvinova A., Shebeko Ju., Lagozi A., Nekrasov V. Pozharnaja bezopasnost’ morskih stacionarnyh platform dlja dobychi nefti i gaza na kontinental’ nom shel’ fe // Inzhenernaja zashhita nauchno-prakticheskij zhurnal. URL: http://territoryengineering.ru. -Data obrashhenija 21.06.2025. [in Russian]

4. Lebedeva E.O., Matuzova S.Ju. Osobennosti obespechenija individual’ noj bezopasnosti pri dostavke personala na neftegazodobyvajushhie platformy arkticheskogo shel’ fa // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel’ skij zhurnal. -2014. - №1(20).- S.74-76. [in Russian]

5. Wind energy’ s frequently asked questions (FAQ). URL: https://www.ewea.org/wind-energy-basics/faq/- Date of access: 21.06.2025.

6.Wu X., Hu Y., Li Y., Yang J., et al. Foundations of offshore wind turbines: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. -2019. -Vol.104. -P.379–393. DOI 10.1016/j.rser.2019.01.012.

7. BARD Offshore Wind Farm. -2023. URL: https://www.4coffshore. com/windfarms/bard-offshore-1-germany-de23. - Date of access: 21.06.2025.

8. What if one of the key solutions to fighting climate change was in our ocean? /GWEC. -2021 URL: https://gwec.net/offshore-wind/. - Date of access: 21.06.2025.

9. Global Offshore Wind Technical Potential/World Bank Group. -2023 URL: https://datacatalog. worldbank.org/search/dataset/0037787. -Дата обращения: 21.06.2025.

10. International Renewable Energy Agency, International Standardisation in the Field of renewable Energy. -2013. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2013/International_Standardisation_-in_the_Field_of_Renewable_Energy.pdf. - Date of access: 21.06.2025.

11. International Qualification & Training Center. // GWO BST Occupational Safety Training. URL: https://iqtc-riga.com/. - Date of access: 21.06.2025.

12. European Technology & Innovation Platform on Wind Energy (ETIP Wind). Strategic research and innovation agenda 2018 // European Technology & Innovation Platform on Wind Energy. -2018. URL: https://etipwind.eu/library/reports/.- Date of access: 21.06.2025.

13. Jarosh V. A., Efanov A. V., Privalov E. E., Jastrebov S. S. Jelektricheskie stancii i podstancii. Chast’ II : laboratornyj praktikum /Direkt-Media. - 2019. - 91 s. ISBN 978-5-4475-5320-3. [in Russian]

14. Gurin S.I. Propaganda ohrany truda // Rukovoditel’ avtonomnogo uchrezhdenija. -2011. -№ 4. [in Russian]

15. Energy Institute. -2023. URL: https://www.energyinst.org/technical/ publications/topics/offshore-safety/g9-2013-incident-data-report. - Date of access: 21.06.2025.

16. Simone Peter. Women in wind energy // Women of Wind Energy Deutschland e.V. URL: http://www.womenofwindenergy.de. - Date of access: 21.06.2025.

17.WindEurope. Health & safety in the wind industry. URL: http://www.ewea.org/policy-issues/health-and-safety/gwo-standards/. - Date of access: 21.06.2025.

18. Moore J., Bullard N. BNEF Executive Factbook. Power, transport, buildings and industry, commodities, food and agriculture, capital //BloombergNEF. -2021. -100 p.

19. RenewableUK. Health and safety on offshore windfarm // RenewableUK. URL:

http://www.renewableuk.com/en. - Date of access: 21.06.2025.

20. Offshore Wind Technical Potential. Analysis and Maps. URL: https://esmap.org/esmap_offshorewind_tech-potential_analysis_maps.- Date of access: 21.06.2025.

21. Castro-Santos L., Diaz-Casas V. Floating offshore wind farms /Springer InternationalPublishing. - 2016. - 193 p. DOI 10.1007/978-3-319-27972-5.

Information about the authors

Aktayeva L.M. – Doctor of Medical Sciences, General Director of the Republican Scientific Research Institute of Occupational Safety and Healt, RNIIOT of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan Astana, Kazakhstan e-mail: rniiot@rniiot.kz;

Koshayeva A.M. – Master of Technical Sciences, the RRIOSH of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: koshayeva12@gmail.com;

Bekmagambetov A.B. - Higher law degree, candidate of legal sciences, associate professor, the RRIOSH of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: Adilet1979@mail.ru;

Rakhmetova A.M. - Candidate of Medical Sciences, associate professor the RRIOSH of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: ra_anar@mail.ru;

Kulmagambetova E. A. - Candidate of Chemical Sciences, the RRIOSH of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: elya_kulmagambet@mail.ru;

Daumova G. K.- Candidate of Technical Sciences, associate professor, the RRIOSH of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: gulzhan.daumova@mail.ru.

Сведение об авторах

Актаева Л.М.- доктор медицинский наук, РГП на ПХВ «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан», Астана, Казахстан, e-mail: rniiot@rniiot.kz;

Кошаева А.М. - Магистр технических наук, РГП на ПХВ «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан», Астана, Казахстан, e-mail: koshayeva12@gmail.com;

Бекмағамбетов А.Б. - кандидат юридических наук, ассоциированный профессор, РГП на ПХВ «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан», Астана, Казахстан, e-mail: Adilet1979@mail.ru;

Рахметова А.М. - кандидат медицинских наук, доцент, РГП на ПХВ «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан», Астана, Казахстан, e-mail: ra_anar@mail.ru;

Кульмагамбетова Э.А. - кандидат химических наук, РГП на ПХВ «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан», Астана, Казахстан, e-mail: elya_kulmagambet@mail.ru;

Даумова Г.К. - кандидат технических наук, ассоцированный профессор, РГП на ПХВ «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан», Усть - Каменогорск, Казахстан, e-mail: gulzhan.daumova@mail.ru.

ҒТАМР 52.13.17 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1100**

АЛТЫНАЛМАС АҚ-ТЫҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН БАҒАЛАУ НЕГІЗІНДЕ АЛТЫН КЕНДЕРІН РЕГРЕССИВТІК ЖӘНЕ КОРРЕЛЯЦИЯЛЫҚ БАЙЫТУ КӨРСЕТКІШТЕРІН БОЛЖАУ

А.У. Кожантов, Е.Х. Абен, С.С. Мырзахметов, Д.К. Ахметканов
Сәтбаев университеті, Алматы, Казахстан

Корреспондент-автор: a.kozhantov@satbayev.university

Мақалада «Алтыналмас» АК мысалында екі сатылы схема (гравитация және флотация) үшін олардың технологиялық сипаттамалары негізінде алтын кендерінің байыту көрсеткіштерін болжау зерттеледі. Кендердің технологиялық сипаттамаларының жоғары өзгермелілігі (Au құрамы, гранулометрия, минералдық құрамы, қаттылығы) байытудың түйінді көрсеткіштерінің: алтын алудың (ε,%), концентраттағы құрамының (β конц, г/т) және концентраттың шығуының (γ,%) елеулі ауытқуына әкеледі. Әдіснама Y = a + a X +... + a X түрінің үлгілерін құру үшін корреляциялық (Пирсон, Спирмен) және көптеген регрессиялық талдауды қамтиды. Маңызды байланыстар орнатылған: мысалы, бос алтынның үлесі алынумен (r = 0.85), ал кендегі Au құрамы концентраттың шығуымен (r = 0.72) қатты корреляцияланады. εΣ үшін R^2 = 0.87 және 1.5% болжам қатесіне байланысты модель әзірленді. Өнеркәсіптік деректерге валидация дәлдікті растады (болжамның орташа ауытқуы εΣ - 1.44%). Нәтижелері байыту қондырғысының режимдерін оңтайландыру және ашық тәсілмен өндіру, кеннің сапасын басқару және Au алынуын бағалау үшін қолданылады.

Түйін сөздер: алтын кендері, байыту, болжау, регрессиялық модельдер, корреляциялық талдау, алтын алу, өндіру.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕГРЕССИВНОЕ И КОРРЕЛЯЦИОННОЕ ОБОГАЩЕНИЯ ЗОЛОТОНОСНЫХ РУД НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АО «АЛТЫНАЛМАС»

А.У. Кожантов, Е.Х. Абен, С.С. Мырзахметов, Д.К. Ахметканов
Satbayev University, Алматы, Казахстан,
e-mail: a.kozhantov@satbayev.university

В статье исследуется прогнозирование показателей обогащения золотоносных руд на основе их технологических характеристик для двухстадиальной схемы (гравитация и флотация) на примере АК «Алтыналмас». Высокая изменчивость технологических характеристик руд (содержание Au, гранулометрия, минеральный состав, твердость) приводит к значительным колебаниям ключевых показателей обогащения: извлечения золота (ε, %), содержания в концентрате (βконц, г/т) и выхода концентрата (γ, %). Методология включает корреляционный (Пирсона, Спирмена) и множественный регрессионный анализ для построения моделей вида $Y = a_0 + a_1X_1 + ... + a\ \ X\ \ .$ Установлены значимые связи: например, доля свободного золота сильно коррелирует с извлечением (r = 0.85), а содержание Au в руде - с выходом концентрата (r = 0.72). Для εΣ разработана модель с R^2 = 0.87 и ошибкой прогноза 1.5%. Валидация на промданных подтвердила точность (среднее отклонение прогноза εΣ - 1.44%). Результаты применимы для оптимизации режимов обогатительной установки и добыча открытым способоми, управления качеством руды и оценки извлекаемости Au.

Ключевые слова: золотоносные руды, обогащение, прогнозирование, регрессионные модели, корреляционный анализ, извлечение золота, добыча.

PREDICTION OF INDICATORS OF REGRESSIVE AND CORRELATION CONCENTRATION OF GOLD-BEARING ORES BASED ON ASSESSMENT OF THEIR TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ALTYNALMAS JSC

A. Kozhantov, E. Aben, S. Myrzakhmetov, D. Akhmetkanov

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: a.kozhantov@satbayev.university

The article examines the forecasting of gold ore beneficiation indicators based on their technological characteristics for a two-stage scheme (gravity and flotation) using the example of JSC (Joint Stock Company) Altynalmas. High variability in the technological characteristics of ores (Au content, granulometry, mineral composition, hardness) leads to significant fluctuations in key enrichment indicators: gold extraction (ε,%), concentrate content (β conc, g/t) and concentrate yield (γ,%). The methodology includes correlation (Pearson, Spearman) and multiple regression analysis to build models of the form $Y = a_0 + a_1 X_1 + ... + a X$. Significant relationships have been established: for example, the proportion of free gold strongly correlates with extraction (r = 0.85), and the Au content in ore - with the yield of concentrate (r = 0.72). For εΣ, a model has been developed with $R^2 = 0.87$ and a forecast error of 1.5%. Validation on industrial data confirmed the accuracy (the average deviation of the εΣ forecast is 1.44%). The results are applicable for optimization of the processing plant and open pit mining, ore quality management and Au recovery estimation.

Keywords: gold-bearing ores, beneficiation, forecasting, regression models, correlation analysis, gold extraction, mining.

Кіріспе. Алтын кендерін байытудың қазіргі заманғы технологиялары процестерді оңтайландыру және шығындарды азайту үшін түйінді көрсеткіштерді (Au алу, концентраттағы құрамы, шығу) нақты болжауды талап етеді. Алайда, гранулометрия, минералдық құрам және алтынның құрамы сияқты кендердің технологиялық сипаттамаларының (ТХ) жоғары кеңістіктік-уақыттық өзгермелілігі байыту тиімділігінің айтарлықтай ауытқуына алып келеді. Бұл әсіресе «Алтыналмас» АК кәсіпорындарында қолданылатын екі сатылы схемалар (гравитация + флотация) үшін өзекті.

Зерттеу негіздері - ТХ кенін корреляциялық және регрессиялық талдау негізінде байыту көрсеткіштерін болжаудың математикалық модельдерін әзірлеу. Жұмыста Au (β_1) құрамын, бос алтын, сульфидтер үлесін және қаттылық параметрлерін қоса алғанда, өнеркәсіптік өлшеулер деректері пайдаланылды. Статистикалық мәнді тәуелділіктер анықталды: мысалы, алтынды (εΣ) алу еркін Au (r = 0.85) үлесімен күшті корреляцияланады. Нақты сынамаларда валидацияланған жоғары дәлдіктегі регрессиялық модельдер ($R^2 = 0.87$, 1.5% болжау қатесі) құрылды.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы байыту фабрикасының режимдерін жедел түзету, кен массасының сапасын басқару және кен орындарының жаңа учаскелері үшін Au алынуын бағалау мүмкіндігінен тұрады. Нәтижелер флотация (β_5) қалдықтарындағы шығындарды барынша азайту және ашық тәсілмен өндіруді оңтайландыру үшін де қолданылады.

«Алтыналмас» АҚ кен орындарының технологиялық сипаттамалары негізінде концентратқа алтын алуды бағалау үшін ғылыми негізделген және верификацияланған болжамды модельді әзірлеу. Экстраполяция тәуекелдерін бағалау үшін алынған үлгілердің барабарлық саласын сандық анықтау. Байыту процестерін жедел жоспарлау үшін үлгілерді пайдалану бойынша практикалық ұсынымдар әзірлеу.

1. Кендердің технологиялық сипаттамалары мен оларға сәйкес байыту көрсеткіштерін қамтитын репрезентативтік деректер базасын қалыптастыру.

2. Статистикалық маңызы бар болжамдарды іріктеу үшін корреляциялық талдау жүргізу.

3. Модельдер құру, тестілік іріктемеде олардың сапасын бағалау және салыстырмалы талдау жүргізу.

4. Жаңа деректердің модельдің барабарлық саласына сәйкестігін тексерудің ресми рәсімін енгізу.

Нысаналы айнымалымен статистикалық маңызы жоқ болжамдарды сүзу. Сандық ауыспалылар үшін таралудың қалыпты емес төзімді

Спирменнің (ρ) корреляция коэффициенті есептеледі. Алдын ала болжам p-value <0,05 шартын орындау кезінде модельдеуге рұқсат етіледі.

Материалдар мен әдістер. Машиналық оқыту (Random Forest, Gradient Boosting, Нейрондық желілер) байытудың күрделі желілік емес процестері үшін көбінесе нақты болжамдар береді.

Минералогияны егжей-тегжейлі қараңыз: Сульфидтердің % -ын ғана емес, алтынның нақты жеткізуші минералдары, ашылу/сіңу дәрежесі туралы деректерді де қосыңыз.

$$\begin{aligned} \gamma_2 + \gamma_2 &= 1; \\ \beta_2\gamma_2 + \beta_2\gamma_3 &= \beta_1 \cdot 1; \\ \gamma_4 + \gamma_5 &= \gamma_3; \\ \beta_4\gamma_4 + \beta_5\gamma_5 &= \beta_3\gamma_3. \end{aligned} \quad (1)$$

мұндағы β2, β4 және β5 - флотация концентраттары мен қалдықтарындағы металдың құрамы.

Байыту өнімдерінің шығуының белгісіз мәндері (γ2γ3γ4 және γ5-ші) химиялық талдаулардың деректері бойынша белгілі формулалар бойынша анықталады. Алынған мәндер бойынша гравиоконцентрат, флотоконцетрат, байыту қалдықтарындағы, сондай-ақ жалпы концентраттағы металдардың қосымша технологиялық көрсеткіштері айқындалады.

Байыту қондырғысының берілген өнімділігі және ауысымына ашық тәсілмен өндіру кезінде (Qсм) олардағы байыту өнімдері мен металдың шығу көрсеткіштерін салмақтық бірліктермен анықтауға болады:

$$g_1 = \frac{g\ \%\ Q_{\text{см}}}{100},\ \text{т} \quad (2)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon\ \%\ Q_{\text{см}}}{100\ \beta_1},\ \text{т} \quad (3)$$

Кен сапасының ауытқуының кен сапасының технологиялық жұмыстарға ауытқуына және ашық тәсілмен өндіруге әсерін айқындау үшін екі айдағы өңдеудің бастапқы деректері талдауға ұшырады. Бұл ретте әрбір ақпарат массиві бойынша әрбір ауысым және әрбір ай бойынша жеке орташа мәні, стандартты ауытқуы (δβ1) және стандартталған эксцесс айқындалған. Орташа мән деректердің орталық үрдісін, стандартты ауытқу - деректердің таралуын, ал эксцесс - қалыпты бөлу заңы білігі айырмашылықтарының маңыздылығын тексеру үшін өлшейді.

Алынған нәтижелерге жасалған талдау бастапқы кендегі металл құрамының вариациясының коэффициенттері өте жоғары екенін көрсетеді (β1) және бөліну өнімдері - бастапқы кендегі 42% гравиоконцентраттағы 85% дейін және флотоконцетраттағы 94% дейін. Қолда бар деректер олардың арасындағы корреляциялық байланыстың болуына талданды. Төрт регрессиялық модель қаралды: сызықтық; мультипликативті; экспоненциалды; керісінше [1, 2].

Мультипликативтік және экспоненциалдық модельдерде линеаризацияға логарифмдеу арқылы қол жеткізіледі. Модельдер параметрлері таңдалған сызықтан ауытқулардың ең аз квадраттары әдісін пайдалана отырып бағаланады.

Байыту қондырғысының регрессиялық талдауы және ашық тәсілмен өндіру негізінде мынадай тәуелділіктер алынды: концентраттың шығуының кеннің құрамындағы бастапқы металға тәуелділігі:

$$\begin{aligned} \gamma_k &= 1.27\beta_1 + 0.35; \\ r &= 0.61; \\ R_2 &= 37.2\% \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} m\beta_k &= 128.2\, m\beta_1 - 211.4; \\ r &= 0.86; \\ R_2 &= 73.5\% \end{aligned} \quad (5)$$

- концентраттың шығуының концентраттағы металдың құрамына тәуелділігі (, к):

$$\begin{aligned} \gamma_k &= \frac{1}{0.002}\,\beta_k + 0.006; \\ r &= 0.64; \\ R_2 &= 41.4\% \end{aligned} \quad (6)$$

- флотация қалдықтарындағы (βхв) металл құрамының оның кендегі құрамына тәуелділігі:

$$\begin{aligned} \beta_{хв} &= 0.84\,\beta_{10,18}; \\ r &= 0.15; \\ R_2 &= 2.3\% \end{aligned} \qquad (7)$$

- концентраттағы металл құрамының оның шығу шамасына тәуелділігі:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= 50.94\,\gamma_{k0.21}; \\ r &= 0.67; \\ R_2 &= 44.4\% \end{aligned} \qquad (8)$$

- концентратқа металды алудың оның бастапқы кендегі құрамына тәуелділігі:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{x1} &= 48.28\,\beta_{10,27}; \\ r &= 0.56; \\ R_2 &= 31.4\% \end{aligned} \qquad (9)$$

мұндағы r - корреляция коэффициенті; R2 - тәуелді айнымалының вариабельділігі тәуелсіз айнымалының өзгеруімен түсіндірілетінін көрсетеді.

Корреляция коэффициентінің мәндері мен R2 көрсеткіштері бойынша көрініп тұрғандай, флотация қалдықтарындағы металл құрамының өзгеруіне оның кендегі құрамының өзгеруімен әсері 0,15 корреляция коэффициенті кезінде 2,3% ғана бағаланады. Қалған тәуелділіктер елеулі болып табылады және техникалық-экономикалық негіздемеде пайдаланылуы мүмкін.

Металлды концентратқа алудың кендегі металл құрамының мәндерінің оның орташа мәнінен ауытқуынан тәуелділігін қарасақ, онда бұл тәуелділік елеулі 1.

$$\begin{aligned} \varepsilon_{x11} &= 19.04\,(\beta_1\beta_1 + 10)0.6; \\ r &= 0.56; \\ R_2 &= 42.9\% \end{aligned} \qquad (10)$$

Осындай нәтиже бастапқы кендегі металл құрамын (db1) ескере отырып, қалдықтардағы металды алудың тәуелділігін қарастырғанда да алынады:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{хв} &= 10.5\,\delta\beta_1 + 3.33; \\ r &= 0.97; \\ R_2 &= 93\% \end{aligned} \qquad (11)$$

Тәуелділік бастапқы шикізаттың ауытқуының 1% -ға ұлғаюымен флотация қалдықтары бар металдың ысырабы 10,5% -ға өсетінін көрсетеді.

Металдың концентратқа шығуы бастапқы кеннің тербелісі ұлғайған кезде төмендейді:

$$\begin{aligned} \gamma_к &= \frac{1}{0.004}\,\delta\beta_1 + 0.006; \\ r &= 0.86; \\ R_2 &= 73.5\% \end{aligned} \qquad (12)$$

Алынған нәтижелер кен байытудың технологиялық көрсеткіштерінің техникалық-экономикалық негіздемесінде пайдаланылуы мүмкін және кен қоймаларында және байыту бункерлерінде өндірілген кен массасын орташаландыру технологиясын әзірлеу мен енгізуге және ашық тәсілмен өндіруге негіз болып табылады, бұл қайта өңдеуге жіберілетін кен массасы жүк ағындарының жоғары тұрақтылығын (саны мен сапасы бойынша) қамтамасыз етеді бұл өз кезегінде бірқатар оң салдарларға әкеледі: кеннен концентратқа пайдалы компоненттерді алу едәуір артады, концентраттардың сапасы едәуір артады, концентраттарды металлургиялық қайта өңдеу процестерін автоматтандыру үшін оң ұйымдастырушылық-технологиялық жағдайлар жасалады [3 - 5].

Асыл және түсті металдардың минералдық шикізатын қайта өңдеу технологияларының қазіргі жай-күйін талдау, сондай-ақ саланың болашақта жұмыс істеуінің жағдайлары мен болмысын (экономикалық, технологиялық, экологиялық және т.б.) бағалау бірінші ғасырдың екі ғасырында технологияларды құру саласындағы зерттеулердің мынадай негізгі бағыттарын перспективалы ретінде бөліп көрсетуге мүмкіндік береді [6 - 9];

Жеделдетілген электрондар энергиясын, селектроплазмалық сепарация мен басқа да энергетикалық әсерлерді пайдалану негізінде пайдалы қазбаларды ашу мен байытудың қағидат-

ты жаңа тәсілдерін әзірлеу - коагуляция (флокуляция, агломерация, түйіршіктеу) процестерін пайдалана отырып, асыл металдарды кендер мен құмдардан алудың жаңа, оның ішінде кешенді тәсілдерін жасау заттармен және парафиндермен, оның ішінде адгезиялық белсенді тасымалдаушы-агрегаттарды пайдалана отырып [6 - 9]:

- амальгамация орнына галамация (сұйық галлий);

- ортадан тепкіш және басқа да алқаптарда байыту - радиометриялық және электростатикалық сепарациялаудың технологиялары мен техникалық құралдарын әзірлеу; - алтын, мыс және басқа да металдарды кедей кен және техногендік шикізаттан үймелеп және жерасты шаймалаудың рентабельді технологиясын сынау және өнеркәсіпке кеңінен енгізу;

- АГ-90, ФАС-3 түріндегі жоғары төзімді активтендірілген көмірді пайдалану негізінде асыл металдарды алу технологиясын әзірлеу және игеру;

- цианидтің орнына уыттылығы аз алтын еріткіштерін, оның ішінде бром мен құрамында йод бар еріткіштерді зерттеу және қолдану. - ерітінділер мен қойыртпақтардан асыл металдарды сорбциялау үшін оңай регенерацияланған анионит жасау. - құрамында алтын бар шикізат, оның ішінде алтын-арсен концентраттарын қайта өңдеудің биогидрометалургиялық технологиясын әзірлеу және өнеркәсіптік игеру. - тұз технологиясының орнына цианидтерді залалсыздандырудың жаңа экологиялық қауіпсіз микробиологиялық тәсілдерін жасау. - улы пирометаллургиялық тәсілдерді пайдалануды төмендету үшін түсті және асыл металдар кендері мен концентраттарын сілтілендірудің автоклавты технологиясын сынау, қымбат - бағана үлгісіндегі аппараттарда кендерді флотациялаудың жаңа тәсілін әзірлеу;

- тиімді және экологиялық қауіпсіз флотациялық реагенттерді зерттеу және ауыстыру;

- биосорбциялар - ұсақ және алыс кен орындарын игеру үшін модульдік жылжымалы қондырғыларды әзірлеу және дайындау - өңделетін шикізаттың сапасын бақылау мен басқарудың қазіргі заманғы компьютерлік технологияларын жасау. Сарапшылардың бағалауы бойынша дәстүрлі технологияларды жетілдіру және жаңа технологияларды құру ірі көлемі 5-10 мкм-ге дейін және одан аз алтынды, атап айтқанда, қоршаған ортаға ең аз экологиялық әсер ететін кедей және маңызды кендерден, үйінділерден, қалдықтар қоймаларынан тиімді алуға мүмкіндік береді. Ғылыми зерттеулердің белгіленген бағдарламасын табысты іске асыру отандық таукен және металлургия өнеркәсібінің техникалық деңгейін арттыруға және бірінші ғасырдың екі айында алтын өндірісін ұлғайтуға мүмкіндік береді [4 -7].

АҚШ мысалы ашық тәсілмен алтынның 85% (Канадада 10%) өндіріледі. Үймелеп сілтілеу арқылы кенді қайта өңдеу кезінде алынған металдың өзіндік құны әдеттегіден 2 есе төмен. Мысалы, үймелеп шаймалау басқа әдістермен (Bleiwas, 0,5) салыстырғанда оның төмен күрделі шығындарынан құрамында бір тонна кенге 1,5-ден 2012 г Au бар төмен сортты оксидті кендерден бағалы металдарды алудың неғұрлым тиімді әдісі болып табылады; Manning and Kappes, 2021). Қысыммен тотығу сульфидтерді сульфаттарға қышқылдандыру арқылы алтынды шығарады, бұл алтынды цианмен оңай шаймалауға мүмкіндік береді (Thomas and Pearson, 2019). Күйдіру негізінен оттегінің қатысуымен жоғары температурада көміртегі мен сульфидті жою мақсатында екі рет берік кендерді өңдеу үшін пайдаланылады (Li et al., 2021; Xiao et al., 2022) және қатты бөлшектерді, SO 2, CO, NO x шығарындыларын және мышьяк қосындыларын қоса алғанда, зиянды химиялық заттардың газ тәрізді шығарындыларымен бірге жүреді (Kasymova, 2019; Thomas and Cole, 2018). Оның үстіне, 2019 жылғы сынап шығарындыларын түгендеуге сәйкес, 824,3 тоннаға жуық жалпы әлемдік сынап шығарындыларының ең көп үлесі алтын өндіру мен өндіруге тиесілі (Yang et al., 2019) [8-10].

Алтын әдетте қатты кен орындарынан алынады, бірақ әлі де борпылдақ тұнбадан алынған металл үлесі аз. Құрамында алтын бар қатты кендер екі ашық (ашық) және жерасты тәсілімен өн-

діріледі. Ашық әдіспен өндіру Австралия мен АҚШ-тағы алтын өндірісінің басым бөлігі үшін қолданылатын ең қолайлы әдіс болып табылады [10 - 12].

Ашық тау-кен жұмыстары одан әрі өңдеу үшін шикізатты алудың неғұрлым қарапайым, жылдам және аз шығынды тәсілі болып саналады. Ресейдегі алтын өндіру операциялары да әдетте жер үсті, сондықтан ашық өндіру осы зерттеу үшін өндіру әдісі ретінде таңдалды. Осы бірлі-жарым процесс үшін деректер Norgate and Hake-ден (2012, 57.) алынды, өндіру процесіндегі негізгі кіріс факторлары тау-кен жабдықтарының жұмысына арналған дизель отыны (5,3 кг/т) және тау-кен жұмыстарына арналған жарылғыш заттар (1,7 кг/т) болып табылады. Тау-кен өнеркәсібі үшін дизель отынын өндіру процесін жабдықтар EU-28 көзделді [13].

Алтынның әлемдік өндірісі соңғы 15-20 жылда, 2024 жылға дейін үздіксіз - жылына шамамен 2-5% -ға өсті. Ең жоғары жылдық өндіру (3503,2 тонна) 2023 жылы жетті. Кейінгі жылдары өндіру 2300-2500т деңгейінде тұрақтанды. Au өндірудің өсу қарқынының қысқаруы көптеген факторлардың әсеріне байланысты. Бірінші кезекте алтынның нарықтық бағасының тұрақты төмендеуі байқалады: 2024 жылғы бір унция үшін 348,00 $ US-тан 2022 жылы 350,19-ға дейін.1992-1996 жылдары алтынның тұрақсыз бағасы 2007 жылдың екінші жартысында күрт құлдыраумен (унциясы үшін 100 $ US жуық) өзгерді. және 2008 ж. Әлемдегі алтын өндіруші кәсіпорындардың тек 40% -ы ғана $300 US бағасымен өз шығындарын өтей алатын жағдайда, әлемдегі алтын өндірісінің айтарлықтай төмендеуі сөзсіз.2007-2008 жылдары алтын бағасының құлдырауы оңтүстік және оңтүстік-шығыс Азиядағы Au сұранысының күрт төмендеуіне (валюталардың апатты девальвациясы салдарынан) және дамыған елдердің орталық банктерінің, оның ішінде Еуропалық орталық банктің қорларынан алтын ұсынысының ұлғаюына байланысты болды.2024 жылы алтын бағасы өсті, ал 2025 жылы олардың одан әрі өсуі күтілуде, бірақ түрлі сценарийлерде бұл болжамдар унциясы үшін $2600-дан $5000-ға дейін болуы мүмкін. Көптеген алтын өндіру комбинаттарының рентабельділігінің төмендеуі, жабылған кеніштердің орнына Au өндіру бойынша жаңадан құрылатын қуаттар санының шектелуі осы жаһандық факторлардың әсерінің салдары болды; кейбір кәсіпорындарда кондициялық кендер қорының сарқылуы және т.б. [14,15].

21 ғасырдың басында әлемдік алтын өндіру жылына 2500-2600 тоннаны құрайды. Ірі продуценттер (2001 ж.): Оңтүстік Африка (394 т.), АҚШ (335т.), Австралия (285т.), Индонезия (183т.), Қытай (173т.), Ресей (165т.), Канада (157т.), Перу (134т.), Өзбекстан (85т.), Гана (72т .). 2000-2024 жылдары әлемдік алтын өндіру: үрдістер және болжамдар//Тау-кен өнеркәсібі. – 2025. – № 3. - 45-52 С [14, 15].

Қазақстандағы алтын рудалары. Қазақстанда құрамында алтын бар отандық кендерді технологиялық типтеудің мынадай негізгі элементтері әзірленді. Технологиялық класс кендегі алтынның салыстырмалы құнына байланысты басқа ілеспе алтын пайдалы компоненттерінің салыстырмалы құнымен салыстыра отырып белгіленеді. Бастапқы шикізаттағы алтынның салыстырмалы құнының шамасына (CAu) қарай Қазақстанның барлық алтын кендері үш технологиялық класқа бөлінген: 1-ші - құрамында алтын бар кендердің өзі (Pau), олардағы алтын басты бағалы компонент (CAu > Cn, мұндағы n - алтыннан басқа әрқайсысы, кеннің бағалы компоненті) және бұл ретте алтынның салыстырмалы құны 75% шамасынан асады; 2-сынып - құрамында алтыны бар кешенді кендер (Pau (n)), онда алтын басты құнды құрауыш болып қалады (CAu > Cn), алайда оның салыстырмалы құны 50% -дан астам, бірақ 75% -дан кем; 3-сынып - алтын бағалы ілеспе компонент болып табылатын алтын кендері (Pn (au)) (CAu < 50%. аз оның құндылығы салыстырмалы).

Кенді қандай да бір технологиялық сынықпа жатқызу зерттелетін шикізаттың кешенді сипаты туралы объективті түсінік береді және оны өңдеудің принципті сызбасын дұрыс анықтауға мүмкіндік береді.1-ші технологиялық кластағы құрамында алтыны бар кендерді алтынды барынша шығаруды қамтамасыз ететін техноло-

гия бойынша өңдеген орынды. Бұл жағдайда басқа бағалы компоненттерді шығару мүмкіндігінше алтын алу циклінің режимдерін елеулі түрде бұзбай, қалдықтардан немесе аралық байыту өнімдерінен жүзеге асырылады. Қосымша тауар өнімін алуға арналған шығыстар осы өнімнің құнымен өтелуге тиіс.

Құрамында алтыны 2-технологиялық кластағы кендер үшін құрамдастырылған технологиялық схемалар тиімді болып табылады, оларда алтынды алу технологиясы басқа бағалы компоненттерді алу технологиясының элементтерімен үйлеседі.

Құрамында алтыны 3-технологиялық кластағы кендер кеннің нақты пайдалы компоненттері үшін қолданылатын технологиялық схемалар бойынша, бірақ байыту немесе металлургиялық қайта өңдеу сатысында алтынды жылдам алу мүмкіндігін ескере отырып өңделуі тиіс. Осы технологиялық кластағы кендерді байыту технологиясы негізгі құнды компоненттерді барынша алуға бағытталған және өзінің ерекшелігі бар.

Кеннің технологиялық түрі кеннің технологиялық төзімділік дәрежесіне қарай белгіленеді. Кенді табанды немесе табанды емес санатқа жатқызуға мүмкіндік беретін негізгі жіктеу белгісі алтынның ашылу және ашылу дәрежесінің мәні болып табылады. Алтынның ашылуы мен ашылу дәрежесінің шекті мәні 90% және байытудың гравитациялық, флотациялық және гидрометаллургиялық әдістерінің комбинациясымен алынатын алтынның мөлшері 90% -дан төмен емес [14].

Кеннің технологиялық түрін мәні бойынша ашу сатысымен айқындау және алтынды ашу фазалық талдау нәтижелері негізінде жүзеге асырылады. Талдау мынадай схема бойынша жүргізіледі: салмағы 1,2 кг, ірілігі 95% кл. дейін ұсақталған кеннің сынамасы. - 0,074 мм, Шервуд әдісімен амальгамуют. Амальгамация қалдықтарын стандартты жағдайларда цианирлейді. Массасы 200 г кен сынамасы айналатын стақандарда NaCN (0,1 г/л) ерітіндісімен әктің (24 т кенге 2,5 кг) қатысуымен 1 сағат бойы үздіксіз сілтіленеді. Алтынды сілтілеу нәтижелері бойынша кеннің төзімділігі туралы қорытынды жасалады. Егер алтынның ашылу және ашылу дәрежесінің сомасы 90% және одан да көп болса, ал байытудың гравитациялық, флотациялық және гидрометаллургиялық әдістерінің комбинациясын қолдану алтынды 90% -дан астам алуға мүмкіндік берсе, онда зерттелетін кен төзімді емес - құрамында алтыны бар кендердің жеңіл багаждалған типіне жатады. Егер осы көрсеткіштердің бірі көрсетілген шекті мәннен аз болса, онда кендер құрамында алтыны бар кеннің тіреу типіне жатады.

Технологиялық әртүрлілік - алтын кендерінің келесі жіктеу бірлігі, ол төзімді кендер үшін төзімділік нысандарының сипатын және төзімсіз жеңіл айдалған кендер үшін алтынды алу технологиясын айқындау негізінде орындалады. Алтыны бар кеннің нақты технологиялық алуандыққа дейін тиесілігі байытудың ұтымды схемасын таңдауды іс жүзінде айқындайды, сондықтан, алтыны бар кенді типтеу тұрғысынан технологиялық алуандылық басты жіктеу бірлігі болып табылады, алтынды алудың технологиялық мүмкіндіктерін айқындайды [14, 15].

Жеңіл багаланған кендер үшін олардың технологиялық түрлері гравитациялық, флотациялық және гидрометаллургиялық байыту әдісімен байытылатын ірі класты алтынды ашу және ашу параметрлеріне байланысты анықталады. Бұл үшін бастапқы кеннің бірнеше сынамасы ұсақталады, байытудың көрсетілген әдістерінің ірілік шекараларына сәйкес келетін ірілік сыныптарына бөлінеді. Әрбір сынып амальгамуют, кек амальгамы цианируют. Талдау нәтижелері бойынша алтынның ашылу және ашылу дәрежесі анықталады және осы шамалар мен ұсақтау ірілігі арасындағы тәуелділік белгіленеді. Алтынның ашылу және ашылу дәрежесі гравитациялық аппараттың жұмыс ірілігі шегінде 90% -дан астам болған кезде кенді құрамында алтын бар L1 түріне жатқызады. Осы ашу дәрежесіне жеткен кезде және флотациялық ірілікте алтынды ашу гравитациялық ірілікте басталатын жағдайда кенді құрамында алтын бар, кендерді гравитациялық және флотациялық байыту әдістерінің комбинациясымен жеңіл багаждайтын L2 түріне жатқызады. Алтынды ашу мен

ашуға байытудың гравитациялық әдісімен байытудың ірі шегінен төмен ұсақтау кезінде ғана қол жеткізілген жағдайда, мұндай кендерді байытудың флотациялық әдісімен құрамында алтыны бар кендерді тез багаждалған - L3 түріне жатқызады. Байытудың гравитациялық және флотациялық әдістерінің комбинациясын қолдану 90% -дан кем алтын алуды қамтамасыз еткен, ал олардың гидрометаллургиялық әдіспен комбинациясы ғана (циандау) алтынның 90% -дан астамын жоюға мүмкіндік берген жағдайда, кендер құрамында алтыны бар жеңіл багахувани кенін гидрометаллургиялық байытуды (циандау) пайдалана отырып, L4 түріне жатқызылады) [14, 15].

Нәтижелер және талқылау. Есептеулері мен кестелері бар бөлімнің ғылыми негізделген құрылымы: технологиялық сипаттамалар («Алтыналмас» АК) негізінде алтын кендерінің байыту көрсеткіштерін математикалық модельдеу және болжау [13 - 15].

Негізгі нәтижелер және оларды верификациялау. Аналогтармен салыстыру және практикалық маңыздылығын негіздеу көрсеткіші - концентратқа алтынды алу (Y) үшін болжамды үлгілердің үш түрі әзірленіп, сынақтан өткізілді.

Әртүрлі үлгілердің тиімділігін салыстырмалы талдау.

Болжау үшін бір деректер жиынтығы пайдаланылды (n = 120 байыту тәжірибесі).

1. Көптеген сызықтық регрессия (базалық аналог) 0.65 ± 4.1% Au құрамы, арсенопирит құрамы (As), алтынның ірілігі. Сызықтық емес тәуелділіктер кезіндегі төмен дәлдік. Факторлардың синергиясын ескермейді.

Салыстырудан ұсынылған Модел машиналық оқыту (Random Forest) негізінде болжамның дәлдігі мен тұрақтылығы бойынша дәстүрлі статистикалық әдістер мен қарапайым ML алгоритмдерінен асып түседі. Тестілік іріктемедегі $R^2 = 0.89$ детерминация коэффициенті Модел алу көрсеткішіндегі 89% дисперсияны түсіндіреді, бұл технологиялық процестер үшін жоғары нәтиже болып табылады.

2. Практикалық маңыздылығының негіздемесі. Тарихи деректерде байқаудан өткізу. Моделдің құндылығын растау үшін фабрика жұмысының соңғы тоқсанындағы деректерге ретроспективті тексеру жүргізілді. Кенді шихталау мен реагенттік режимді оңтайландыру үшін Моделді пайдалана отырып, қандай үнемдеуді алуға болатыны Моделделген. Орташа алу Au 87.5% 89.3% (болжам) +1.8% абсолюттік алу. Қалдықтардағы Au құрамы 0.98 г/т 0.85 г/т (болжам) -0.13 г/т шығындар. Бас коллектордың шығысы 85 г/т 78 г/т (болжам) ~ 8% реагенттерді үнемдеу.

Экономикалық әсерді есептеу (алу мысалында): Жылдық қайта өңдеу кезінде орташа құрамы 2 г/т 1 000 000 тонна кен.

Алу өсімі 1.8% қосымша береді: жылына 1 000 000 т * 2 г/т * 0.018 = 36 000 грамм алтын. Алтын құны грамына 60$ ~ болғанда, реагенттер мен энергияны үнемдеуді есептемегенде, өндіруді арттырудан жылдық экономикалық тиімділік шамамен 2,16 млн. құрайды.

3. Қолданыстағы әдістермен байланыс және ғылыми үлесі аналогтардың шектеулері ·сызықтық регрессиядан айырмашылығы, біздің Модел (Random Forest) автоматты түрде айнымалылар арасындағы сызықтық емес өзара іскимылды ескереді (мысалы, алтын ірілігінің алынуға әсері тотыққан және сульфидті кендерде әр түрлі көрінеді). Қарапайым шешімдерінен айырмашылығы, Random Forest ансамбльдік әдісі деректердегі шуға төзімді және қайта оқытуға бейім емес, бұл жоғары вариабельді өнеркәсіптік деректер үшін өте маңызды. Практикалық іске асыру «Алтыналмас» АҚ геологиялық-технологиялық сынамалау дерекқорымен интеграцияланатын Python ортасында бағдарламалық модуль әзірленді. Кеннің жаңа партиясының параметрлерін (минералдық құрамы, ірілігі және т.б.) жүктеген кезде алу болжамын және көрсетілген дәлдікпен (1.8%±) бастапқы реагенттік режим бойынша ұсынымдарды алады.

Кен орындарындағы алтын рудаларының технологиялық сипаттамаларының (ЗР) жоғары кеңістіктік-уақыттық өзгергіштігін атап өту. Бұл негізгі байыту көрсеткіштерінің елеулі ауытқуына әкелетінін көрсету: алтынды алу (ε,%), кон-

центраттағы алтынның құрамы (β конц, г/т), концентраттың шығымы (γ,%) [13, 14].

Мақсат қою болжамдау моделін әзірлеудегі келген кендерінің өлшенген технологиялық сипаттамалары негізінде екі сатылы байыту схемасы тиімділігінің негізгі көрсеткішін айқындау.

Байыту қондырғысында өңделетін алтын рудасы мен «Алтыналмас» АК ашық тәсілмен өндіру.

Компанияның нақты кен базасы үшін бірегей кеннің технологиялық жұмысы жоғары дәйектелген, болжамды цифрлық моделі. Бұл технологиялық процесті реактивті түзетуден проактивті оңтайландыруға көшуге мүмкіндік береді.

Болжамдаудағы «соқыр аймақтарды» төмендету. Әлемдік байыту фабрикаларының көпшілігі қарапайым деректермен жұмыс істейді. Біздің жүйе геологиялық барлау, минералогия және технологиялық сынақтар деректерін біріктіре отырып, технологиялық және қаржылық тәуекелдерді барынша азайта отырып, ұсақтау және флотациялау кезеңіне дейінгі шығыс көрсеткіштерін болжауға мүмкіндік береді.

Тікелей экономикалық пайда: Алудың нақты болжамы кендерді шихталауды, реагенттер шығысын және энергия тұтынуды оңтайландыруға мүмкіндік береді, бұл алтын унциясының өзіндік құнының төмендеуіне алып келеді, бұл жаһандық нарықтағы негізгі бәсекелестік көрсеткіш болып табылады.

Алтын алуды барынша көбейту және операциялық шығындарды барынша азайту үшін «Алтыналмас» АҚ алтын рудаларын байытудың технологиялық көрсеткіштерін болжаудың өзін-өзі зерделейтін жүйесін құру.

1. Концентратта алтынды алуды болжаудың жоғары дәлдіктегі (<2% нысаналы қателігі) регрессиялық моделін әзірлеу. Кендің негізгі технологиялық параметрлерінің (алтынның минералдық нысандары, оның ірі араласуы, кен минерал-серіктерінің құрамы, «зиянды» компоненттердің - мышьяктың, көмірлі заттың) алынуына әсерін анықтау және сандық бағалау. Көпфакторлы регрессиялық Моделдер (сызықтық, сызықтық емес) мен машиналық оқыту Моделдерін (Random Forest, Gradient Boosting) құру және верификациялау.

2. Концентраттың сапасын болжау және кеннің қиын байытылатын түрлерін сәйкестендіру үшін корреляциялық Моделдер жасау. Кеннің технологиялық сипаттамалары мен концентрат пен қалдықтардағы алтынның құрамы сияқты көрсеткіштер арасындағы жасырын байланыстарды анықтау үшін корреляциялық талдау жүргізу. Кендер жіктеуішін олардың болжамды байытылуы негізінде технологиялық типтер бойынша әзірлеу.

3. Технологиялық процесті жедел жоспарлау және басқару үшін бағдарламалық құралды енгізу. Міндеттері технологиялық сынамалау деректерін енгізу және болжамды көрсеткіштерді алу үшін интуитивті түсінікті интерфейс әзірлеу.

Кенді ауыспалы шихталау және реагенттік режимді жедел түзету кезінде пайдалану үшін құралды кәсіпорынның технологиялық цикліне біріктіру.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы мынада: «Алтыналмас» АҚ кен базасы үшін алғаш рет эмпирикалық-сипаттау тәсілінен деректердің толық циклі негізінде - жер қойнауынан концентратқа дейін байытудың технологиялық процесін сандық-болжамдық Моделдеуге кешенді көшу жүзеге асырылатын болады. Машинамен оқытудың алдыңғы қатарлы алгоритмдерімен классикалық статистикалық әдістерді (көптеген регрессия, факторлық талдау) синергетикалық біріктіретін гибридтік әдіснама ұсынылады. Бұл тек нақты болжамдар жасауға ғана емес, сонымен қатар дәстүрлі талдау үшін қол жетімсіз желілік емес және жасырын тәуелділіктерді анықтай отырып, әрбір технологиялық фактордың үлесін түсіндіруге мүмкіндік береді. Жаңалықтың негізгі элементі кеннің технологиялық типінің «цифрлық паспортын» әзірлеу және енгізу болып табылады. Бұл паспорт тек химиялық және минералогиялық құрамды ғана емес, сонымен қатар технологиялық мінез-құлықтың сандық дескрипторларын (мысалы, «ашу индексі», «реакциялық қабілеттілік коэффициенті») біріктіреді, бұл минералдық шикізаттың қа-

сиеттерін формализациялаудағы жаңа сөз болып табылады. «Алтыналмас» АҚ шарттары үшін байытудың технологиялық тізбегінің «цифрлық қосарланысы» құрылады. Бұл статикалық Модел емес, жаңа деректердің түсуіне қарай үнемі нақтыланатын өзін-өзі оқытатын жүйе, бұл оның ұзақ мерзімді өзектілігін және компанияның зияткерлік активі ретінде өсіп келе жатқан құндылығын қамтамасыз етеді [15].

Технологиялық схема: екі сатылы (1-сурет - міндетті түрде схеманы қосыңыз): 1-кезең гидроциклон бастапқы кен (β_1, γ_1 = 100%) Мыналарға бөлінеді: Құм (ауыр фракция) - Гравиоконцентрат (β_2, γ_2). Ағызу (жеңіл фракция) (β_3, γ_3); 2-кезең флотация гидроциклонды (β_3, γ_3) ағызу Флотоконцентрат (β_4, γ_4) алу арқылы флотацияланады. Флотациялық қалдықтар (β_5, γ_5) - Үйіндіге жөнелтіледі.

Дайын өнім гравиоконцентрат (β_2, γ_2) + Флотоконцентрат (β_4, γ_4). Жиынтық шығу: $\gamma\Sigma$конц = $\gamma_2 + \gamma_4$. Жиынтық алу: $\varepsilon\Sigma = (\beta_2 \gamma_2 + \beta_4 \gamma_4) / \beta_1$ 100%.

Материалдық теңгерім теңдеулері: Салмағы бойынша: $\gamma_1 = \gamma_2 + \gamma_3 = \gamma_2 + (\gamma_4 + \gamma_5) = \gamma_2 + \gamma_4 + \gamma_5 = 100\%$.

Алтын бойынша: $\beta_1 \gamma_1 = \beta_2 \gamma_2 + \beta_3 \gamma_3 = \beta_2 \gamma_2 + \beta_4 \gamma_4 + \beta_5 \gamma_5$.

Кеннің зерттелетін технологиялық сипаттамалары (ТХ) (тәуелсіз айнымалылар) = Х): β_1 - бастапқы кендегі Au құрамы, г/т Гранулометриялық құрамы (класс% -Х + Ү мкм). Минералдық құрамы (сульфидтер%, еркін алтын%, балшықты минералдар%). Бонд бойынша қаттылық (Wi, кВт сағ/т). Кеннің тығыздығы, г/см ^{3}.

Алтынның ашылу коэффициенті (минералогиялық талдау деректері бойынша%).

болжамды байыту көрсеткіштері (айнымалылар - Ү):

$\varepsilon\Sigma$ - жиынтық алу Au,%.

$\beta\Sigma$конц - аралас концентраттағы Au жиынтық құрамы, г/т;

$\gamma\Sigma$конц - концентраттардың жиынтық шығымы,%.

β_5 - флотация қалдықтарындағы Au құрамы (шығынның негізгі көрсеткіші), г/т.

Деректерді талдау әдістері: Корреляциялық талдау (Пирсон/Спирмен): Жекелеген ТХ (Х) және КПО (Ү) арасындағы байланыстың күші мен бағытын анықтау үшін. r корреляция коэффициенті есептеледі.

Көптеген регрессиялық талдау: Түрдің математикалық үлгілерін құру үшін: Y = a0 + a1 X1 + a2 X2 + ... + an Xn. Ең аз квадраттар әдісі пайдаланылады [14, 15].

Кеннің технологиялық сипаттамалары (болжамдар) мен байытудың шығыс көрсеткіштері арасындағы тұрақты және статистикалық мәні бар жұп байланыстарды анықтау. Айнымалылардың сипаттамасы, болжамдар (Х) сандық және сапалық технологиялық параметрлер. Сандық Au (г/т) құрамы, сульфидтер құрамы (%, мысалы, пирит), As, Cu, Sb құрамы, алтын сіңірілуінің ірілігі (мкм), ұсақтау кезінде алтын дәндерінің ашылу дәрежесі (%). Сапалық (номиналды) кеннің минералдық түрі (тотыққан, сульфидті, аралас), басым алтын түрі (арсенопиритте сіңірілген еркін).

Мақсатты технологиялық көрсеткіштер. Алтынды концентраттан алу (%), концентраттағы алтынның құрамы (г/т), қалдықтардағы алтынның құрамы (г/т).

Өлшемдерді таңдау сандық ауыспалылар үшін Пирсонның корреляция коэффициенті қолданылады (r). Маңыздылық критериі t-критерийдің көмегімен нөлдік гипотезаны (H_0=r=0) тексеру. Байланыс p-value<0.05 кезінде статистикалық маңызды болып саналады. Шектеулер және тексеру Пирсон әдісі байланыстың сызықтығына және таратудың қалыпты болуына сезімтал. Талдау алдында мыналар тексеріледі:

1. Сызықтық шашырау диаграммалары (scatter plots) арқылы көзбен шолу.

2. Қалыпты Шапиро-Уилка немесе Q-Q plots тестінің көмегімен.

Қалыпты бұзылған жағдайда Спирмен (ρ) коэффициенті пайдаланылады, ол қатаң сызықтық байланысты емес, монотонды бағалайды. Сапалы ауыспалылар үшін әртүрлі кен түрлері ара-

сындағы реакцияның орташа мәндерін (мысалы, Au алу) салыстыру үшін дисперсиялық талдау (ANOVA) қолданылады. Маңыздылық өлшемі F-тестіндегі p-value <0.05 кем дегенде екі топ арасында статистикалық маңызды айырмашылықтар бар екенін көрсетеді.

Түсіндіру логикасы: Біз тек кез келген байланыстарды іздеп қана қоймай, одан әрі регрессиялық модельдеу үшін тұрақты және статистикалық мәні бар (p <0.05) жауап қатумен корреляцияны көрсететін болжамдарды ғана іріктейміз, бұл ретте байланыс күші (| r | немесе | ρ |) практикалық мәнге ие болуы тиіс (мысалы, | r |> 0.5).

2. Регрессиялық талдау: болжамды модельді құру кезеңнің болжамдар жиынтығы (X_1, X_2,... негізінде мақсатты көрсеткіштің (Y) мәнін болжауға мүмкіндік беретін математикалық модель құру... X). Айнымалылардың сипаттамасы және модельді таңдау логикасы: Тәуелді айнымалы (Y): Үздіксіз шама (мысалы, Au алу, %). Тәуелсіз айнымалылар (X): Корреляциялық талдау кезеңінде іріктелген болжамдар.

Модельді құру әдістемесі мен кезеңдері: 1. Деректерді дайындау: Категориялық айнымалыларды кодтау: Сапалық болжамдар (кен түрі) One-Hot Encoding (жалған айнымалыларды жасау) әдісінің көмегімен сандық түрге түрлендіріледі. Масштабқа сезімтал әдістер үшін (мысалы, тұрақтандырумен регрессия) барлық сандық болжамдар стандартталады.

Базалық модель: Көптеген сызықтық регрессия.

Теңдеу:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_k X_k + \varepsilon$$

Бұл бастапқы нүкте. Болжамдар мен жауап қатулар арасындағы байланыс сызықтық және аддитивті деп болжанады.

Егер сызықтық емес деп ұйғарылса (шашырау диаграммаларында көрінетіндер): полиномиалдық регрессия (X^2, X^3 мүшелерін қосу). Жалпыланған аддитивті модельдер (GAM). Егер болжамдар көп болса немесе олар қатты корреляцияланса (мультиколлинеарлық) жоталы регрессия (Ridge) немесе Лассо (Lasso). Лассо сондай-ақ шамалы коэффициенттерді нөлге теңдей отырып, белгілерді іріктеуді орындайды.

4. Детерминация коэффициенті (R^2) модельмен түсіндірілген жауап дисперсиясының үлесін көрсетеді. Шектеу: R^2 әрқашан жаңа, тіпті кездейсоқ болжамдар қосылғанда өседі.

Түзетілген R^2 (Adjusted R^2) әртүрлі алдын ала болжамдармен үлгілерді салыстыру үшін негізгі критерий. Ақпаратсыз айнымалыларды қосқаны үшін «айыппұл» есепке алады. Егер түзетілген R^2> 0.7 (мән пән аумағы бойынша өзгеруі мүмкін) болса, үлгі барабар болып саналады.

Жалпы модельдің статистикалық маңыздылығы: F-тестінің көмегімен тексеріледі (p-value <0.05).

Жеке коэффициенттердің статистикалық маңыздылығы әрбір β үшін t-тест (p-value <0.05) тексеріледі. Елеусіз коэффициенттер (константадан басқа) модельді қайта қарауға себеп. [4, 5, 9, 11].

Үлгілердің барабарлығын бағалау R^2 детерминация коэффициенті (түсіндірілген дисперсия үлесі). Стандартты бағалау қатесі (SEE). F-Фишер критерийі (жалпы модельдің маңыздылығын тексеру). Стьюденттің t-критерийі (жекелеген коэффициенттердің маңыздылығын тексеру). Қалдықтарды талдау (қалыпты, гомоскедастикалық).

Кеннің жаңа үлгісі модель оқытылған деректерге қатысты қаншалықты «лақтырыс» болып табылатынын көрсетеді. Жоғары леверидж дегеніміз модель интерполяциялау емес, экстраполяциялайды, бұл сенімсіз.

1. Модель үшін левериджді (h *) критикалық мәні есептеледі.

2. Болжау кезінде кеннің жаңа партиясы үшін оның левериджі автоматты түрде есептеледі.

3. Егер жаңа үлгідегі леверидж> h * болса, жүйе ескерту береді: ”Болжам сенімсіз. Үлгі үлгінің барабарлық аумағынан тыс. Қосымша технологиялық сынақ қажет”.

Өзгеретін технологиялық параметрлерді есепке алу: Модельге кеннің сипаттамалары ғана емес, сонымен қатар негізгі басқарылатын

технологиялық параметрлер (тартудың ірілігі, негізгі реагенттердің шығыны) енгізіледі. Бұл әр түрлі кен үшін ғана емес, сондай-ақ шикізаттың әрбір жаңа түрі үшін оңтайлы жағдайларды анықтай отырып, фабрика жұмысының әртүрлі режимдері үшін де жауап қайтару беттерін құруға және шығаруды болжауға мүмкіндік береді.

1-кесте. Бастапқы деректер статистикасы (мысал)

Сипаттама: Орташа мәндер, стандартты ауытқулар (SD), кеннің негізгі ТХ және үшін N өнеркәсіптік өлшеулер немесе ашық тәсілмен өндіруге арналған эксперименттер бойынша минимумдар мен максимумдар көрсетілген.

Өлшем	Өлшем бірлігі	Орташа	SD	Min	Max	Саны (N)
β_1 (берілген кен)	г/т	3.15	0.82	1.40	5.60	50
% класс -75+45 мкм	%	22.5	5.1	12.0	35.0	50
% сульфидтер	%	8.7	2.3	4.0	14.0	50
% сульфидтер	%	8.7	2.3	4.0	14.0	50
Wi (қаттылығы)	кВт ч/т	12.8	1.5	9.5	15.5	50
% свободного Au	%	65.2	12.4	35.0	85.0	50
εΣ (игріп алу)	%	86.7	4.2	75.3	92.5	50
βΣконц	г/т	45.2	12.5	25.0	75.0	50
γΣконц	%	5.8	1.3	3.2	8.5	50
β_5 (қалдықтар)	г/т	0.42	0.15	0.18	0.85	50

Әдіснама 1. Қолданыстағы геологиялық блоктық модельдің атрибуциясы. Үлгінің әрбір блогына (полигонға) Au құрамынан басқа технологиялық параметрлердің болжамды мәндері (минералдық түрі, алтынның болжамды ірілігі, арсенопириттің құрамы және т.б.) беріледі. Сыналмаған блоктар үшін мәндерді болжау барлау ұңғымалары бойынша деректер негізінде геостатистика (кригинг) әдістерімен жүзеге асырылады.

2. Толассыз болжам. Құрылған регрессиялық модельді пайдалана отырып, модельдің әрбір блогы үшін алтынды алудың болжамды көрсеткіші есептеледі. Нәтижесінде блокты алу моделі (Recovery Model) алынады.

Тау-кен геологиялық қызметі үшін құрал алады: тау-кен жұмыстарын оңтайландыру: Күрделі байытылатын кендердің шикіқұрамға түсуін барынша азайта отырып, блоктарды өңдеу жүйелілігін мазмұны бойынша ғана емес, болжамды байыту бойынша да жоспарлау.

3. Регрессиялық модельдер мен қазіргі заманғы машиналық оқыту алгоритмдерін салыстырмалы талдау. Әдісті таңдауды негіздеудің негізгі мәселесі.

Салыстырмалы талдау хаттамасы (Benchmarking). Кросс-валидацияның бірдей рәсімімен бір деректер жиынында (n = 120) мынадай алгоритмдерді салыстыру жүргізілді сыныбы нақты алгоритмдер көптеген сызықтық регрессия 0.65 ± 4.1 жоғары тек сызықтық байланыстарда ғана тиімді. Полиномиалдық регрессия (2-ші дәреже) 0.74 ± 3.5 орташа сызықсыздықты ұстайды, бірақ қайта оқытуға бейім.

Салыстырмалы талдау қорытындылары классикалық регрессиялар дәлме-дәл жоғалады, бірақ олардың қарапайымдылығы мен түсіндірілуі оларды негізгі факторларды бастапқы талдау және түсіну үшін пайдалы етеді.

Регрессиялық үлгілерді құру (мысалы εΣ):

1) Неғұрлым корреляцияланған және технологиялық маңызды болжамдар (X) іріктеп алынды:% бос Au (X1), β_1 (X2),% сульфидтер (X3).

2) Көптеген сызықтық регрессия теңдеуі құрылды: εΣ = a0 + a1 X1 + a2 X2 + a3 X3.

3) Коэффициенттер есептелді (гипотетикалық деректер негізінде болжамды мәндер): εΣ = 52.3 + 0.41 (% своб. Au) + 1.8 β_1 - 0.95 (% сульф.).

4) Үлгіні бағалау: R^2 = 0.87 (алу вариациясының 87% үлгімен түсіндіріледі).

SEE = 1.5% (Болжамның стандартты қатесі ~ 1.5%). F-статистика = 85.6 (p < 0.001) - модель статистикалық маңызы бар. t-статистикасы: a1 = 7.2 (p < 0.001), a2 = 3.1 (p = 0.004), a3 = -4.8 (p < 0.001) - барлық коэффициенттер маңызды.

Интерпретация: Еркін алтын үлесінің және рудадағы Au құрамының артуы сульфидтердің бөлінуін ұлғайтады, құрамының артуы (бәлкім, жұқа жабылған немесе берік алтын есебінен) бөлінуді азайтады [12, 14].

2-кесте. Жұптық корреляция коэффициенттерінің матрицасы (r) (маңызды байланыстардың мысалы)

Сипаттама қандай ТХ неғұрлым күшті әсер ететінін көрсетеді. r күшті байланысқа жақын, к - әлсіз. - p < 0,05 кезінде, - p < 0,01 кезінде маңызды.

Тәуелсіз (X)	Тәуелді (Y)	r	p-value (мәні)
β_1 (берілген кен)	εΣ	0.15	0.302
β_1 (берілген кен)	βΣконц	0.72	0.01
β_1 (берілген кен)	γΣконц	0.38	0.008
β_1 (берілген кен)	β_5	0.68	0.01
% еркін құрамы Au	εΣ	0.85	0.01
% сульфидтер	βΣконц	0.65	0.01
Wi (қаттылығы)	γΣконц	0.52	0.001
% класс -75+45 мкм	β_5	0.78	0.01

3-кесте. Болжау нәтижелері және нақты мәндері (5 сынама үшін мысал)

Сипаттама: Бақылау сынамаларында модельді валидациялау (модельді құруға қатыспаған).

Сынамалар	факт. ε_Σ (%)	болжам ε_Σ (%)	ауытқу (абс.)	ауытқу (%)	факт. β_5 (г/т)	болжам β_5 (г/т)
V-1	88.2	87.6	0.6	0.68%	0.38	0.41
V-2	79.5	81.1	1.6	2.01%	0.67	0.62
V-3	91.0	89.8	1.2	1.32%	0.24	0.27
V-4	85.7	84.3	1.4	1.63%	0.49	0.52
V-5	82.1	83.4	1.3	1.58%	0.58	0.55
орташа ауытқу		1.22	1.44%		0.07 г/т	

1. Кендердің түйінді технологиялық сипаттамалары (Au құрамы, гранулометрия, минералогия, қаттылық) мен олардың екі сатылы схема бойынша байыту көрсеткіштері (алу, кон-

центраттағы құрамы, шығымы, қалдықтардағы шығындары) арасында статистикалық маңызды байланыстар орнатылған.

2. Практика үшін қолайлы дәлдікпен болжауға мүмкіндік беретін барабар регрессиялық модельдер (Au, R^2 = 0.87, SEE = 1.5% алу моделінің мысалында) әзірленді (1.44% алу болжамының орташа ауытқуы).

3. Модельдер мыналар үшін пайдаланылуы мүмкін: Әртүрлі ТХ бар кен партияларын байытудың күтілетін нәтижелерін жедел болжау [14, 15].

Байыту қондырғысының режимін оңтайландыру және түсетін кеннің сапасына байланысты ашық тәсілмен (гидроциклон, флотация) өндіру.

Өндіру және жоспарлау сатысында кен орнының жаңа блоктарынан немесе учаскелерінен алтынның ықтимал алынуын бағалау.

Ашық тәсілмен (blending) өндіруге берілетін кен массасының сапасын басқару [12, 15].

Қорытынды. Алтын алу көрсеткіштеріне статистикалық елеулі әсер ететін кендердің түйінді технологиялық сипаттамалары белгіленген. Байланыстың ең үлкен тығыздығы бос алтын құрамының арасында байқалады. Технологиялық параметрлер кешеніне (X η, X_1 байланысты алтынды (X_2) алуды болжау үшін регрессиялық Моделдер әзірленіп, верификацияланды... X). Ең жақсы дәлдікке R^2 детерминация коэффициентінің көмегімен қол жеткізілді, бұл Моделдің барлығын және оның болжамға жарамдылығын растайды.

Кейбір факторлар арасында мультиколлинеарлық бар екенін анықтаған жұптық корреляциялар матрицалары жасалды және талданды. Бұл қайталанатын белгілерді жоюға және қорытынды болжамдық Моделдердің орнықтылығын арттыруға мүмкіндік берді. Әрбір технологиялық фактордың байытудың шығыс көрсеткіштеріне әсер ету дәрежесі сандық бағаланды.1% -ға өзгеріс өзге де тең жағдайларда алтын алудың % -ға өзгеруіне әкелетіні анықталды.

Әзірленген бағдарламалық-әдістемелік кешен толық ауқымды сынақтар жүргізудің қажеттілігінсіз технологиялық сынамалау деректері негізінде «Алтыналмас» АҚ кенінің жаңа партиялары үшін күтілетін алтынды алуды жедел болжауға мүмкіндік береді.

Жұмыс нәтижелері «Алтыналмас» АҚ байытқышын геологиялық-технологиялық картаға түсіру бөліміне енгізуге ұсынылды. Кен учаскелерінің технологиялық әлеуетін алдын ала бағалау. Кен ағындарының шикіұрамын қалыптастыру және орташалау схемасын оңтайландыру. Өндіру және өндіру көлемін болжамды алу көрсеткіштерін ескере отырып жоспарлау. Моделдерді пайдалану бағалаудың бастапқы сатыларында қымбат тұратын және ұзақ мерзімді металлургиялық сынақтардың санын қысқарту есебінен материалдық-уақытша ресурстарды үнемдеуге мүмкіндік береді.

Салынған Моделдер «Алтыналмас» АҚ кен орындарының технологиялық сипаттамалары мәндерінің зерделенген диапазоны шегінде валидті. Оларды минералдық құрамы түбегейлі өзгеше кендерге экстраполяциялау дұрыс нәтиже бермеуі мүмкін.

Болжамның дәлдігі бастапқы деректердің сапасымен және репрезентативтілігімен шектеледі. Сынамада жүйелі қателіктердің болуы немесе сынаманың біртекті болмауы болжамның сенімділігін төмендетуі мүмкін.

Моделдер физикалық-химиялық емес, статистикалық сипатта болады. Олар бақыланатын тәуелділіктерді сипаттайды, бірақ байыту технологиясын түбегейлі өзгерту кезінде оларды қолдануды шектеуі мүмкін алу процестерінің терең тетіктерін ашпайды.

Моделге технологиялық процестің динамикалық параметрлері енгізілмеген, олар да түпкілікті нәтижеге әсер етеді.

Факторлар арасындағы күрделі өзара іс-қимылды есепке алу және дәлдікті арттыру үшін сызықтық емес және машиналық болжау әдістерінің қолданылуын зерттеу. Пайдалануудың жаңа деректерінің түсуіне қарай моделдер параметрлерін автоматты түрде түзетуге қабілетті бейімделу жүйесін әзірлеу.

Әдебиеттер

1. Дауренбекова А. Н., Кожантов А.У. Основы горной технологии / Учебное пособие. Алматы: Каз-НИТУ имени К. И. Сатпаева. -2017. - 174с. ISBN 978-601-323-073-3.

2. Кожантов А.У. Открытая разработка комплексных месторождений для взаимосвязанных процессов горного производства (при добыче комплексных полезных ископаемых из недр земли). Авторская монография. // Издательский центр «Polytech» имени Т. Кенеева. -2025. -104 с. ISBN 978-601-323-571-4.

3. Lozinsky V., Falshtinsky V. Kozhantov A., Kieush L., Sayk P. Increasing the underground coal gasification efficiency using preliminary electromagnetic coal mass heating// IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. -2024.-Vol.1348 (1) :012045. - P.1-13 p. DOI 10.1088/1755-1315/1348/1/012045.

4. Sayk P., Lozinsky V., Anisimov O., Akimov O., Kozhantov A., Mamaykin O. Managing the process of underground coal gasification // Scientific Bulletin of the National Medical University. -2023. -Vol.6. -P.25-30. DOI 10.33271/nvngu/2023-6/025.

5. Rakishev B.R., Auezova A.M., Kuttybaev A.E., Kuttybayev A., Kozhantov A.U. Specifications of the rock massifs by the block sizes // Науковий вісник НГУ. - 2014. -№6. –P.22–27.

6. Kadivar S., Akbari H., Vahidi E. Assessing the environmental impact of gold production from double refractory ore in a large-scale facility// Science Total Environment. -2023 —Vol.20 (905):167841. DOI 10.1016/j.scitotenv.2023.167841.

7. Bolatova A., Kuttybayev A., et al. Use of mining and metallurgical waste as a backfill of worked-out spaces// News of the national academy of sciences of the republic of kazakhstan. Series of geology and technical sciences. -2022. –Vol.1(451). –P.33–38. DOI 10.32014/2022.2518-170x.137.

8. Lutsenko S., Hryhoriev Y., Peregudov V., Kuttybayev A., Shampykova A. Improving the methods for determining the promising boundaries of Iron Ore Open pits// E3S Web of Conferences. -2021. -Vol.280: 01005. DOI 10.1051/e3sconf/202128001005.

9. Liu W, Deng X, Han S, Chen X, Li X, Aibai A, Wu Y, Wang Y, Shan W, Li Z, et al. Pyrite textures and compositions in the Dongbasitao gold deposit, northwest China: implications for gold ore formation and mineralization processes// Minerals. -2023. –Vol.13(4):534. DOI 10.3390/min13040534.

10. Mussin A., Imashev A., Matayev A., Abeuov Y., Shaike N., Kuttybayev A. Reduction of ore dilution when mining low-thickness ore bodies by means of artificial maintenance of the mined-out area// Mining of Mineral Deposits. -2023. -Vol.17(1). -P.35-42. DOI 10.33271/mining17.01.035.

11. San Millan-Castillo R., Morgado E., Goya-Esteban R. On the use of decision tree regression for predicting vibration frequency response of handheld probes// IEEE Sensor Journal. -2020. -Vol.20 (8). -P.4120-4130. DOI 10.1109/JSEN.2019.2962497.

12. Park S., Choi Y., Park H-S. Simulation of shovel-truck haulage systems in open-pit mines by considering breakdown of trucks and crusher capacity//Korean Society for Rock Mechanics and Rock Engineering. -2014. Vol.24 (1). -P.1-10. DOI 10.7474/TUS.2014.24.1.001.

13. Choi Y, Nguyen H, Bui X-N, Nguyen-Thoi T, Park S. Estimating ore production in open-pit mines using various machine learning algorithms based on a truck-haulage system and support of internet of things// Natural Resources Research. -2021. -Vol.30. -P.1141-1173. DOI 10.1007/s11053-020-09766-5.

14. Spyridon Mathioudakis, George Xiroudakis, Evangelos Petrakis and Emmanouil Manoutsoglou Alluvial Gold Mining Technologies from Ancient Times to the Present// Mining.- 2023.-Vol.3(4)-P/618-644.DOI 10.3390/mining3040034.

15. Lutsenko S., Hryhoriev Y., Kuttybayev A., Imashev A., Kuttybayeva A. (2023). Determination of mining system parameters at a concentration of mining operations// Series of geology and technical sciences. -2023. -Vol.1(457). -P.130-140. DOI 10.32014/2023.2518-170x.264.

References

1. Daurenbekova A. N., Kozhantov A.U. Osnovy gornoj tehnologii / Uchebnoe posobie. Almaty: KazNITU imeni K. I. Satpaeva. -2017. - 174s. ISBN 978-601-323-073-3. [in Russian]

2. Kozhantov A.U. Otkrytaja razrabotka kompleksnyh mestorozhdenij dlja vzaimosvjazannyh processov gornogo proizvodstva (pri dobyche kompleksnyh poleznyh iskopaemyh iz nedr zemli). Avtorskaja monografija. // Izdatel' skij centr «Polytech» imeni T. Keneeva. -2025. -104 s. ISBN 978-601-323-571-4. [in Russian]

3. Lozinsky V., Falshtinsky V. Kozhantov A., Kieush L., Sayk P. Increasing the underground coal gasification efficiency using preliminary electromagnetic coal mass heating// IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. -2024.-Vol.1348 (1) :012045. - P.1-13 p. DOI 10.1088/1755-1315/1348/1/012045.

4. Sayk P., Lozinsky V., Anisimov O., Akimov O., Kozhantov A., Mamaykin O. Managing the process of underground coal gasification // Scientific Bulletin of the National Medical University. -2023. -Vol.6. -P.25-30. DOI 10.33271/nvngu/2023-6/025.

5. Rakishev B.R., Auezova A.M., Kuttybaev A.E., Kuttybayev A., Kozhantov A.U. Specifications of the rock massifs by the block sizes // Науковий вісник НГУ. - 2014. -№6. –P.22–27.

6. Kadivar S., Akbari H., Vahidi E. Assessing the environmental impact of gold production from double refractory ore in a large-scale facility// Science Total Environment. -2023 —Vol.20 (905):167841. DOI 10.1016/j.scitotenv.2023.167841.

7. Bolatova A., Kuttybayev A., et al. Use of mining and metallurgical waste as a backfill of worked-out spaces// News of the national academy of sciences of the republic of kazakhstan. Series of geology and technical sciences. -2022. –Vol.1(451). –P.33–38. DOI 10.32014/2022.2518-170x.137.

8. Lutsenko S., Hryhoriev Y., Peregudov V., Kuttybayev A., Shampykova A. Improving the methods for determining the promising boundaries of Iron Ore Open pits// E3S Web of Conferences. -2021. -Vol.280: 01005. DOI 10.1051/e3sconf/202128001005.

9. Liu W, Deng X, Han S, Chen X, Li X, Aibai A, Wu Y, Wang Y, Shan W, Li Z, et al. Pyrite textures and compositions in the Dongbasitao gold deposit, northwest China: implications for gold ore formation and mineralization processes// Minerals. -2023. –Vol.13(4):534. DOI 10.3390/min13040534.

10. Mussin A., Imashev A., Matayev A., Abeuov Y., Shaike N., Kuttybayev A. Reduction of ore dilution when mining low-thickness ore bodies by means of artificial maintenance of the mined-out area// Mining of Mineral Deposits. -2023. -Vol.17(1). -P.35-42. DOI 10.33271/mining17.01.035.

11. San Millan-Castillo R., Morgado E., Goya-Esteban R. On the use of decision tree regression for predicting vibration frequency response of handheld probes// IEEE Sensor Journal. -2020. -Vol.20 (8). -P.4120-4130. DOI 10.1109/JSEN.2019.2962497.

12. Park S., Choi Y., Park H-S. Simulation of shovel-truck haulage systems in open-pit mines by considering breakdown of trucks and crusher capacity//Korean Society for Rock Mechanics and Rock Engineering. -2014. Vol.24 (1). -P.1-10. DOI 10.7474/TUS.2014.24.1.001.

13. Choi Y, Nguyen H, Bui X-N, Nguyen-Thoi T, Park S. Estimating ore production in open-pit mines using various machine learning algorithms based on a truck-haulage system and support of internet of

things// Natural Resources Research. -2021. -Vol.30. -P.1141-1173. DOI 10.1007/s11053-020-09766-5.

14. Spyridon Mathioudakis, George Xiroudakis, Evangelos Petrakis and Emmanouil Manoutsoglou Alluvial Gold Mining Technologies from Ancient Times to the Present// Mining.- 2023.-Vol.3(4)-P/618-644.DOI 10.3390/mining3040034.

15. Lutsenko S., Hryhoriev Y., Kuttybayev A., Imashev A., Kuttybayeva A. (2023). Determination of mining system parameters at a concentration of mining operations// Series of geology and technical sciences. -2023. -Vol.1(457). -P.130-140. DOI 10.32014/2023.2518-170x.264.

Автор туралы мәліметтер

Кожантов А.У.- т.ғ.к., Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: a.kozhantov@satbayev.university;

Абен Е.Х. -т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: y.aben@satbayev.university;

Мырзахметов С.С. - т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: s.myrzakhmetov@satbayev.university;

Ахметканов Д.К. - т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: d.akhmetkanov@satbayev.university.

Information about the authors

Kozhantov A.- Candidate of Technical Sciences, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: a.kozhantov@satbayev.university;

Aben Y. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: y.aben@satbayev.university;

Myrzakhmetov S. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: s.myrzakhmetov@satbayev.university;

Akhmetkanov D. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: d.akhmetkanov@satbayev.university.

ҒТАМР 52.13.17 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1116**

МИНЕРАЛДЫҚ ШИКІЗАТТЫҢ ЭКОНОМИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, ТАУ-КЕН ЖҰМЫСТАРЫНЫҢ НЕГІЗГІ КЕЗЕҢДЕРІНІҢ СТРАТЕГИЯСЫН ТАҢДАУ

А.У. Кожантов, Е.Х. Абен, С.С. Мырзахметов, Д.К. Ахметканов

Сәтбаев университеті, Алматы, Казахстан

Корреспондент-автор: a.kozhantov@satbayev.university

Мақалада негізгі және қосалқы (ілеспе) пайдалы компоненттерді өндіру кезінде алынған барлық түпкілікті өнімдердің құнын және осы өнімдерді өндіруге жұмсалатын шығындарды ескере отырып, қорлардың жай-күйін бағалау ұсынылған, ілеспе пайдалы қазбаларды пайдалануға тартудың экономикалық тиімділігі - калькуляциялық блоктың 1 тоннасын өндіруге және қайта өңдеуге жұмсалатын шығындарға есептелген, қарастырылып отырған пайдалы қазбаны қайта өңдеу кезінде өндірілген түпкілікті өнім құнының қатынасына тең жағдай коэффициенті. Мысал ретінде Жайрем полиметалл және марганец кен орнының базасында келтірілген және күрделі кен орындарында тау-кен жұмыстарын дамытуды, өндірудің толықтығын және көп компонентті кендердің қажетті сапасын қамтамасыз ететін әзірленген әдістемені сынау нәтижелері алынды. Кешенді кен орындарын игеру кезінде жер қойнауын пайдалану талаптарын толық қанағаттандыратын тау-кен жұмыстарын дамыту бағытын негізделген таңдау тиімділікке неғұрлым елеулі әсер ететіні анықталды. Көп компонентті кендердің әртүрлі типтері мен сорттарын іріктеу және игеру кезінде күрделі кен орындарын таңдау және игеру тәртібі үшін ашудың ең төменгі коэффициентінің критерийін пайдалануға жол берілмейді.

Кен орындарын кешенді игерудің экономикалық тиімділігін бағалау әдістемесі жай-күйінің коэффициенті ($К_с$) негізінде әзірленді. Осы коэффициент барлық түпкілікті өнім құнының (негізгі және ілеспе компоненттерден) 1 тонна кенді өндіруге және қайта өңдеуге арналған шығындарға қатынасы ретінде есептеледі.

Күрделі көп компонентті кен орындарын игерудің толықтығы мен рентабельділігін арттыру үшін әдістемені енгізу.

Оңайлатылған өлшемдерге негізделген қолданыстағы тәсілдер (мысалы, ашудың ең төменгі коэффициенті) барлық бағалы компоненттерді оңтайлы алуды қамтамасыз етпейді және экономикалық әлеуетті жоғалтуға әкеледі.

Барлық пайдалы қазбаларды экономикалық бағалау негізінде тау-кен жұмыстарын дамыту стратегиясын оңтайландыру.

Тау-кен жұмыстарының бағытын негізді таңдау жекелеген техникалық параметрлерді барынша азайтуға қарағанда жалпы тиімділікке көбірек әсер ететіні анықталды. Бұл жер қойнауын ұтымды пайдалану қағидаттарының сақталуын қамтамасыз етеді. Жайрем полиметалл және марганец кен орнында қорларды алу толықтығы, көп компонентті кендердің қажетті сапасы, ілеспе пайдалы қазбаларды пайдалануға тартудың экономикалық орындылығы.

Түйін сөздер: карьер бөлімі, кондиционды коэффициенті, карьер, ашық игеру, пайдалы қазбалар, қайта өңдеу.

ВЫБОР ОСНОВНЫХ ЭТАПОВ ГОРНЫХ РАБОТ С УЧЕТОМ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

А.У. Кожантов, Е.Х. Абен, С.С. Мырзахметов, Д.К. Ахметканов

Satbayev University, Алматы, Казахстан,
e-mail: a.kozhantov@satbayev.university

Экономическая эффективность вовлечения в эксплуатацию попутных полезных ископаемых, по которым в статье представлена оценка состояния запасов с учетом стоимости всех конечных продуктов, полученных при производстве основных и попутных (сопутствующих) полезных компонентов, и затрат на производство этих продуктов - коэффициент состояния, равный отношению стоимости конечной продукции, добытой при переработке рассматриваемого полезного ископаемого, рассчитанный на затраты на добычу и переработку 1 тонны калькуляционного блока. В качестве примера получены результаты испытаний разработанной методики, приведенной на базе Жайремского полиметаллического и марганцевого месторождения и обеспечивающей развитие горных работ а сложных месторождениях, полноту добычи и необходимое качество многокомпонентных руд. Установлено, что более значительный эффект на эффективность оказывает обоснованный выбор направления развития горных работ, полностью удовлетворяющий требованиям недропользования при освоении комплексных месторождений. При отборе и разработке различных типов и сортов многокомпонентных руд не допускается использование критерия минимального коэффициента вскрытия для порядка выбора и разработки сложных месторождений.

Методика оценки экономической эффективности комплексной разработки месторождений разработана на основе коэффициента состояния (Кс). Данный коэффициент рассчитывается как отношение стоимости всей конечной продукции (от основных и сопутствующих компонентов) к затратам на добычу и переработку 1 тонны руды.

Внедрение методики для повышения полноты и рентабельности разработки сложных многокомпонентных месторождений.

Существующие подходы, основанные на упрощенных критериях (например, минимальный коэффициент раскрываемости), не обеспечивают оптимальное получение всех ценных компонентов и приводят к потере экономического потенциала.

Оптимизация стратегии развития горных работ на основе экономической оценки всех полезных ископаемых.

Установлено, что обоснованный выбор направления горных работ оказывает большее влияние на общую эффективность, чем минимизация отдельных технических параметров. Это обеспечит соблюдение принципов рационального использования недр. Полнота извлечения запасов на Жайремском полиметаллическом и марганцевом месторождении, необходимое качество многокомпонентных руд, экономическая целесообразность вовлечения в эксплуатацию попутных полезных ископаемых.

Ключевые слова: разрез карьера, коэффициента норма качества и, борта карьера, открытая разработка, полезные ископаемые, переработка.

SELECTION OF THE MAIN STAGES OF MINING OPERATIONS TAKING INTO ACCOUNT THE ECONOMIC CHARACTERISTICS OF MINERAL RAW MATERIALS

A. Kozhantov✉, E. Aben, S. Myrzakhmetov, D. Akhmetkanov

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: a.kozhantov@satbayev.university

Economic efficiency of utilization of associated minerals, for which the article presents an estimate of the state of reserves, taking into account the cost of all final products obtained during the production of basic and associated (by-product) useful components, and production costs of these products - a condition coefficient equal to the ratio of the value of the final product extracted during processing of the mineral under consideration, calculated for the cost of extraction and processing of 1 ton of the calculation unit. As an example, the results of testing the developed methodology presented on the basis of the Zhayremskoye deposit and ensuring the development of mining operations in complex deposits, the completeness of

production and the required quality of multicomponent ores were obtained. It has been established that a more significant effect on efficiency is exerted by a reasonable choice of the direction of development of mining operations, which fully meets the requirements of subsoil use in the development of complex fields. When selecting and developing various types and grades of multicomponent ores, it is not allowed to use the criterion of the minimum opening factor for the procedure for selecting and developing complex deposits.

The methodology for assessing the economic efficiency of integrated field development was developed on the basis of the condition coefficient (Kc). This ratio is calculated as the ratio of the cost of all final products (from the main and related components) to the cost of mining and processing 1 ton of ore.

Implementation of a methodology to improve the completeness and profitability of development of complex multi-component fields.

Existing approaches based on simplified criteria (for example, a minimum rate of disclosure) do not provide optimal receipt of all valuable components and lead to a loss of economic potential.

Optimization of mining development strategy based on economic evaluation of all minerals.

It has been established that a reasonable choice of mining direction has a greater impact on the overall efficiency than minimizing individual technical parameters. This will ensure compliance with the principles of rational use of subsoil. Completeness of reserves recovery at Zhayremskoye deposit, required quality of multicomponent ores, economic feasibility of associated mineral resources utilization.

Keywords: quarry section, coefficient of air conditioning, sides of the quarry, open-pit mining, minerals, processing.

Кіріспе. Зерттеудің әдістемелік негізі кешенді кен орындарын игерудің экономикалық тиімділігін бағалауға арналған коэффициенті аталатын интегралдық көрсеткішке негізделген. Бұл әдістеме тек математикалық-экономикалық тәсілді ұсынумен шектелмей, оның іс жүзіндегі қолдану алгоритмін, бастапқы деректердің көздерін және оңтайландыру процедураларын егжей-тегжейлі сипаттайды. Пайдалы компоненттердің экономикалық шекті шығындарды қамтамасыз етеді. Негізгі және ілеспе (сопутствующих) компоненттерді, сондай-ақ оларды алуға жұмсалатын шығындарды және пайдалы қазбаларды пайдалану тиімділігін қоса алғанда, барлық түпкілікті өнімнің құнына негізделген қорлар сапасының нормаларын экономикалық бағалау сапа нормасының коэффициентін қолдана отырып жүзеге асырылуы мүмкін. Осы коэффициент белгілі бір блок шегінде өндірілетін пайдалы қазбаның 1 тоннасынан алынатын дайын өнім құнының өндіру және қайта өңдеу шығындарына қатынасын білдіреді. Есептеу формуласы компоненттердің мазмұны, сапа коэффициенттері және алу коэффициенттері, сондай-ақ тасымалдау және қайта өңдеу шығындары сияқты көптеген параметрлерді қамтиды, соның арқасында компаниялар әзірлеуді жалғастыру, өндірістік процестерді оңтайландыру және инфрақұрылымға инвестициялар салу қажет [1, 2]:

$$k_k = \frac{0,01\,\alpha_{1i} k_к \varepsilon_{oi} \varepsilon_i \left(Ц_{мi} - C_{мi}\right)}{C_Д} \qquad (1)$$

α_{1i} — қорлардағы і-компоненттің үлесі (пайызбен); k_k — пайдалы қазбаларды өндіру кезінде олардың сапасының өзгеруін көрсететін коэффициент (үлеспен);

ε_{oi}, ε_i — қайта байыту және металлургиялық қайта өңдеу кезінде пайдалы компоненттерді алу коэффициенттері (үлестерде);

$c_{мi}$ — байыту өнімін (концентратты) металлургиялық кәсіпорынға дейін тасымалдаудың жиынтық құны және бір тонна үшін теңгемен көрсетілген соңғы өнімнің (металдың) бір тоннасының өзіндік құнындағы металлургиялық өңдеу құны;

$Ц_{мi}$ — алынатын түпкілікті өнім (і-түрі) құнының тоннасын теңгемен көрсетілген шамасы;

$c_Д$ — байыту фабрикасына дейін өндіруге, тасымалдауға және бір тонна өндірілген пайдалы қазбаны байытуға жұмсалатын жалпышығындар.

$$k_{kd} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Ц_i}{\sum_{i=1}^{n} c_{i_{\text{пр}}}} \geq 1,$$

немесе

$$k_{kd} = \frac{\sum_{i=1}^{n} 0,01 K_{K_i}\, \varepsilon_{oi}\, \alpha_{1i} \left(Ц_{мi} - c_{мi}\right)}{c_d + c_{\text{об}}}, \quad (2)$$

мұнда $c_{об}$ - алынған минералдық шикізаттың бір бірлігінің сипаттамасын жақсартуға күтілетін шығындар.

Кенді белгілі бір блоктан (немесе 1 тоннасынан) алынатын барлық түпкілікті өнімнің құндылығының осы блокты өндіруге және қайта өңдеуге кеткен жалпы шығындарға қатынасы ретінде анықталады. Бұл көрсеткіш негізгі және ілеспе пайдалы компоненттерді кешенді есепке алуға мүмкіндік береді.

Нәтижесінде, жалпы жағдайда сапа нормасының коэффициентін:

$$k_{kd} = \frac{\sum_{i=1}^{n} 0,01 k_{k_i}\, \varepsilon_{обi}\, \alpha_{1i} \left(Ц_{р.мi} - c_{мi} - E_н k_{мi}\right)}{c_Д + c_{\text{об}} + E_н k_{pi}} \quad (3)$$

мұнда α_{1i} - қорлардағы і-компоненттің құрамы,%;

$k_к$ - өндіру кезінде пайдалы қазба сапасының өзгеру коэффициенті, өлшемсіз көрсеткіш;

$\varepsilon_{обi}$, $\varepsilon_{мi}$ - байыту және металлургиялық қайта өңдеу кезінде і-компонентті алу коэффициенттері тиісінше мөлшерсіз, бірлік үлесі;

$c_{мi}$ - концентратты металлургиялық кәсіпорынға дейін тасымалдауға және оны қайта өңдеуге жұмсалатын шығындар, бір тонна өнімнің өзіндік құнында (теңге/тонна), тг/т;

$c_д$ - өндіруге, байыту фабрикасына дейін тасымалдауға және байытуға жұмсалған жалпы шығындар, өндірілген ресурс құнының үлесінде;

$Ц_{мi-}$ i - компоненттің түпкілікті өнімінің бағасы, теңге/тонна.

Тау-кен байыту комбинатының қызмет ету мерзімін ұзарту үшін оның қуатын арттырусыз қорларды қайта өңдеудің орындылығын бағалау мына формула бойынша жүргізіледі [2, 3]:

$$k_{kd} = \frac{0,01 k_{кА}\, \varepsilon_{обА}\, \alpha_А Ц_А + 0,01 k_{кБ}\, \varepsilon_{обБ}\, \alpha_Б Ц_Б}{c_д + c_{\text{об}}} \quad (4)$$

Теңдеуге тиісті мәндерді қою арқылы мыналарды аламыз:

$$k_{kd} = \frac{0,01 \cdot 0,602 \cdot 5,01 \cdot 22,23 + 0,01 \cdot 0,525 \cdot 3,04 \cdot 38,7}{0,18 + 0,084 \cdot 5,05 + 0,075 \cdot 11,56} = 0,87$$

яғни, барлық қорлар жиынтығында кондициялық емес болып шығады. Алайда жиынтық қорларды құрайтын блоктарда пайдалы компоненттердің құрамы әртүрлі және оларды жеке бағалау орынды. Мұны әрбір блок немесе шекаралық жағдайлар үшін жеке сапа нормасының коэффициентін есептей отырып жасауға болады.

$$k_{kd} = \frac{0.01\, \alpha_i\, k_к\, \varepsilon_{обi}\, \varepsilon_{мi} \left(Ц_{мi} - C_{мi}\right)}{C_Д} \quad (5)$$

Мысалға, мыс компоненті үшін:

$$k_{kd} = \frac{0,01 \cdot 0,7\% \cdot 0,802 \cdot 5,15 \cdot 1,07 \cdot (20 \text{ dollar} - 2,14 \text{ dollar})}{2,8 \text{ dollar}} = 0,197$$

$$k_{kd} = \frac{0,01 \cdot 0,7\% \cdot 0,892 \cdot 5,36 \cdot 0,46 \cdot (20 \text{ dollar} - 2,14 \text{ dollar})}{2,8 \text{ dollar}} = 0,098$$

Тау-кен байыту кәсіпорнының қуатын кеңейтпей, оның қызмет ету мерзімін ұзарту мақсатында осы қорларды қайта өңдеуге тартуды бағалауды [3, 4]:

$$k_{kd} = \frac{0,01\, k_{\text{кА}}\, \varepsilon_{\text{обА}}\, \alpha_{\text{А}}\, Ц_{\text{А}} + 0,01\, k_{\text{кБ}}\, \varepsilon_{\text{обБ}}\, \alpha_{\text{Б}}\, Ц_{\text{Б}}}{c_{\partial} + c_{\text{об}}} \tag{6}$$

$$k_{kd} = \frac{0,01 \cdot 0,603 \cdot 2,76 \cdot 0,7 \cdot 14,82 + 0,01 \cdot 0,525 \cdot 3,54 \cdot 0,8 \cdot 25,8}{0,4 + 0,573} = \frac{0,173 + 0,383}{0,973} = 0,571$$

$$k_{kd} = \frac{\sum_{i=1}^{n} 0,01\, K_{K_i}\, \varepsilon_{\text{об}i}\, \alpha_i \left(Ц_{\text{м}i} - c_{\text{м}i}\right)}{c_{Д} + c_{\text{об}}}$$

$$k_{kd} = \frac{0,01 \cdot 0,602 \cdot 3,04 \cdot 0,7 \cdot 14,82 + 0,01 \cdot 0,525 \cdot 4,86 \cdot 0,15 \cdot 25,8}{0,43 + 0,33} = \frac{0,189 + 0,0987}{0,76} = \frac{0,287}{0,76} = 0,378 \tag{7}$$

$$k_{kd} = \frac{0,01\, \alpha_i\, k_{\text{к}}\, \varepsilon_{\text{об}i}\, \varepsilon_{\text{м}i} \left(Ц_{\text{м}i} - C_{\text{м}i}\right)}{C_D} \tag{8}$$

мұндағы α_i - қорлардағы і-компоненттің құрамы, %;

$k_{\text{к}}$ - өндіру кезінде пайдалы қазба сапасының өзгеру коэффициенті, бірлік үлесі;

$\varepsilon_{\text{об}i}, \varepsilon_{\text{м}i}$ - байыту және металлургиялық қайта бөлу кезінде пайдалы і-компонентті алу коэффициенті, бірлік үлесі;

C_{m_i} - байыту өнімін (концентратты) металлургия зауытына дейін тасымалдауға және түпкілікті өнім (металл) тоннасының өзіндік құнындағы металлургиялық қайта бөлуге арналған шығындар сомасы, dollar/т;

C_D - байыту фабрикасына дейін өндіру, тасымалдау және өндірілген пайдалы қазбаның бірлігін байыту шығындарының сомасы, dollar /т;

$Ц_{\text{м}i}$ - түпкілікті *i*-өнімнің алынатын құндылығы, dollar /т;

$C_{\text{об}}$ - байыту өнімін (концентратты) металлургия зауытына дейін тасымалдауға және түпкілікті өнім (металл) тоннасының өзіндік құнындағы металлургиялық бөлуге жұмсалған шығындар сомасы, dollar /т;

$C_{Д}$ - өндірілген пайдалы қазбаның бірлігін байытуға жұмсалатын алдағы шығындар, dollar/т;

$Ц_i$ - 1 т өндірілетін пайдалы қазбадан негізгі және і-ші ілеспе пайдалы компонентті алу кезінде алынатын түпкілікті өнімнің алынатын құндылығы;

V_i - ашудың жиынтық көлемі;

P_i - игеру басталғаннан і жылға дейін өндірілген пайдалы қазбаның жиынтық көлемі;

$c_{i.пр}$ - баланстан тыс қорларды алудың алдағы шығындарының өтімділігі;

C - тау-кен массасының кейбір көлемін әзірлеу;

P_s - пайдалы қазба қорлары, s-сорты (типі);

c_i - аршу жұмыстарына жұмсалған шығындарды өтеусіз өндіруге жұмсалған шығындар сомасы, dollar /т;

$c_в$ - аршу жыныстарының бірлігін жоюға арналған шығындар, dollar /м^3;

V_B - аршу жұмыстарының көлемі, м^3;

Д - оны сатудан күтуге болатын жиынтық кірістер (пайдалар), онда олардың C/D қатынасы салынған шығындарды пайдалану дәрежесін сипаттайды;

k - кеннің түрлері мен сорттарының саны;

Z_{pj} - жұмыс аймағының j-жағдайы үшін р-көкжиектегі шығын коэффициенті;

Z_{ji} - і-ші қима үшін р-көкжиек түбінің j-ші контурында да қайталанады;

$k_{ВС.кос}$ - ашу коэффициентінің рұқсат етілген мәні;

$\sum_{i=1}^{K} Ц_i$ - жиынтық құндылығы, оны өндіруге жол берілетін тұйықтау шығындары ретінде қабылданатын 1 т кешенді кендерден алынған дайын өнім түріндегі барлық компоненттердің [4, 5].

Материалдар мен әдістер. Зерттеу пайдалы қазбалар қорларын игерудің экономикалық тиімділігін бағалауға негізделеді. Құрал ретінде көрсеткішке негізделген әдіс қолданылады - сапа нормасы және (Кк) [1]. Бұл коэффициент зерттелетін блокта өндірілген бір тонна кеннен алынған түпкілікті өнім құнының оны өндіру мен қайта өңдеудің жиынтық шығындарына арақатынасы ретінде айқындалады. Мұндай тәсіл қайта өңдеу кезінде негізгі ресурстарды да, ілеспе пайдалы компоненттерді де пайдалану тиімділігін жан-жақты талдауға мүмкіндік береді.

$$k_{КД} = \frac{0,01\, k_{кА}\, \varepsilon_{обА}\, \alpha_A\, Ц_A + 0,01\, k_{кБ}\, \varepsilon_{обБ}\, \alpha_Б\, Ц_Б}{c_{д.пр} + c_{об.пр}} \qquad (9)$$

Минералдық ресурстарды кешенді есепке алу кезінде графоаналитикалық әдісті пайдалана отырып тау-кен жұмыстарын жүргізудің неғұрлым ұтымды бағытын айқындау кен орнында анықталған пайдалы қазбалардың немесе кен қорларының әрбір түрі үшін де сапа нормасының коэффициентін есептеуге негізделеді. Тау-кен жұмыстарын дамыту бағытын оңтайландыру графоаналитикалық әдіс келесі ретпен карьерді тереңдетудің әрбір ықтимал бағыты үшін (1-суреттегі a, b, c, ... ж сызықтары) әрбір кен түрі бойынша өндіруге жарамды кен көлемі анықталды. Алынған көлемдерге сәйкес кен түрінің коэффициентіне көбейтіліп, тең кондициялы көлемдері көрінді. Бұл әртүрлі компоненттерді бір экономикалық өлшемге келтіруге мүмкіндік береді. Карьердің көлденең қимасындағы пайдалы қазбалардың көлемін талдағаннан кейін тереңдетудің түрлі бағыттары кезінде және оларды тиісті коэффициенттерге көбейту сапа нормасы және тау-кен жұмыстарын ұйымдастырудың барынша тиімді нұсқасы анықталады, ол ресурстарды барынша тиімді пайдалануға және өндіру тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Соңғы қадам ретінде әрбір тереңдету бағыты үшін аршу жұмыстарының көлемі (V) мен шығындары (С) бағаланды. Ең төменгі көбейтіндісін ұсынатын бағыт тау-кен жұмыстарын дамытудың оңтайлы бағыты ретінде таңдалды.

А.И. Арсентьев әзірлеген әдістен айырмашылығы критерийі бойынша минералдық ресурстарды кешенді пайдалану кезінде графаналитикалық әдіспен тау-кен жұмыстарын дамытудың оңтайлы бағытын айқындаудың мәні мынада. Кен орнындағы пайдалы қазбалардың әрбір түрі, кен түрлері үшін немесе кондициялар жобасының нұсқалары бойынша шектелген кен қорлары үшін де сапа нормасының коэффициентін анықтайды. Карьердің көлденең қимасында тереңдетудің барлық ықтимал бағыттары бойынша карьердің жұмыс аймағы шаблонының көмегімен пайдалы қазбалардың көлемі әрбір түрі бойынша жеке өлшенеді. Өлшенген көлемдер пайдалы қазбаның осы түрі үшін де сапа нормасын тиісті коэффициентке көбейтеді және содан кейін карьердің жұмыс аймағының әрбір жағдайы үшін қосылады.

Алынған деректер бойынша үдемелі мәндердің көмекші кумулятивтік кестесі $Pk = \sum_{s=1}^{k} P_s\, k_{КД}$, H карьерін тереңдету кезеңдеріне байланысты құрылады.

$$\sum_{s=1}^{k} P_s\, k_{КД} = f(H), \qquad (10)$$

Оқшаулағыштарды сапа нормасы мен оське тең құру үшін ординатты тең сегменттерге бөледі және P1, P2,..., Pn көлденең сызықтарын жүргізеді. Олардың белгілі бір сапа нормасына сәйкес келетін пайдалы қазбалар көлемінің тәуелділігін көрсететін кестелермен қиылысу нүктелері өндіру тереңдігін білдіреді. Бұл нүктелер көлденең қимаға көшіріледі (1-суретті қараңыз), тиісті сапа нормасына сәйкес келетін пайдалы қазбалар көлемдерінің бірдей мәндерінің белгісі бойынша қосылады және тереңдетудің барлық ықтимал бағыттары үшін алынатын пайдалы қазбалардың тең көлемін көрсететін оқшаулау сызықтарын алады [4- 6].

Бұдан әрі біздің зерттеулеріміз көмір қасиеттерінің вариациялары мен электромагниттік өрістің сипаттамаларын ескере отырып, көмір қабаттарын қыздыру процестерін неғұрлым егжей-тегжейлі талдау және жетілдіру мақсатында тереңдетілуі мүмкін.

Қосымша, бұл зерттеу төбе және табан жыныстарындағы жылу ысыраптарын ескере отырып, көмір массасын қыздыру процесінің тиімділігін арттыруға, сондай-ақ жиілік, қуат және сәулелендіргіштің нысаны сияқты электромагниттік өріс параметрлерін оңтайландыруға бағытталуы мүмкін. Осы мақсаттарға қол жеткізу үшін температуралық режимді неғұрлым дәл болжау және реттеу үшін сандық әдістерді пайдалана отырып, көп параметрлік талдауды ескеретін неғұрлым күрделі математикалық модельді әзірлеу қажет. Зерттеудің қисынды аяқталуы есептік деректерді эксперименттік тексеруді және көмір массасын қыздырудың оңтайлы шарттарын анықтауды қамтитын зертханалық және далалық эксперименттер болады. Заманауи анықтамалық шешім қабылдау (Surpac Systems, Micromine, Datamine) k -коэффициенті әртүрлі даму сценарийлерін салыстыру үшін сандық негіз ретінде қызмет етеді. Техникалық шешімдерді таңдау тікелей экономикалық нәтижелерге байланысты. Кен орнын жоғары дәлдікпен экономикалық бағалауға мүмкіндік береді.

Карьердің көлденең қимасы (1-суретті қараңыз) аршу жұмыстарының өзіндік құны бойынша айтарлықтай ерекшеленетін тау-кен және басқа да аймақтарды бөле отырып, аршу жыныстарын тасымалдау қашықтығына және игеру тереңдігінің деңгейіне байланысты аймақтарға бөлінеді. Әрбір бөлінген аймақ үшін аршу жыныстарын өндіруге арналған шығындар есептеледі.

Дәстүрлі тәсілдермен (мысалы, тек ашу коэффициентін минимизациялау) салыстырмалы талдау жүргізілді. Ашу коэффициентінің төмендігіне ғана негізделген тәсіл (1а-сурет) жоғары құнды, бірақ алу қиын орналасқан кен блоктарын игеруден бас тартуға әкеп соғуы мүмкін, бұл өз кезегінде экономикалық жоғалуына себеп болады.

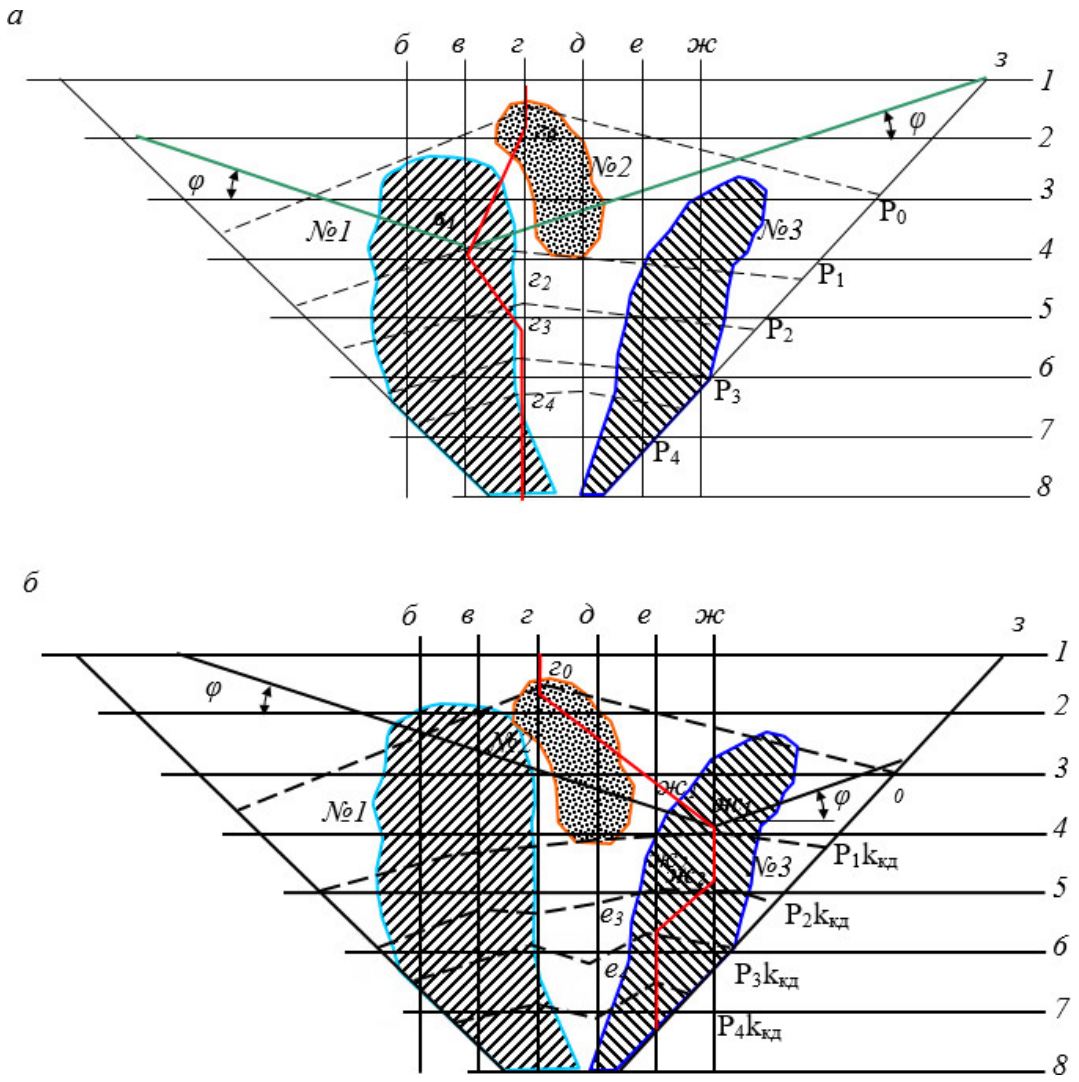
Карьерді тереңдетудің барлық ықтимал бағыттары желілерінің пайдалы қазбалардың тең кондициялы көлемдерінің оқшаулағыштарымен қиылысында карьердің жұмыс аймағының шаблонының көмегімен аршу жыныстарының көлемін өлшейді және оларды жоюға жұмсалатын тиісті шығындарға көбейтеді.

Карьерді тереңдетудің әрбір кезеңі үшін $c_B V_B$. ең төменгі мәндеріне сүйене отырып, оның оңтайлы бағыты айқындалады.

Егер аршу жұмыстарының шығындарындағы айырмашылық аз болса, оларды елемеуге болады және ұтымды бағыт аршу жұмыстарының ең аз көлемі бойынша таңдалады.

1-суретте карьердің көлденең қимасы берілген, ол аршу жыныстарын тасымалдау қашықтығы мен өндіру тереңдігіне қарай аймаққа бөлінеді (аршу жыныстарын жою жөніндегі жұмыстарға айтарлықтай әртүрлі шығыстармен сипатталатын таулы және басқа аймақтарға). Бөлінген аймақтардың әрқайсысы үшін аршу жыныстарын алуға арналған шығындар есептеледі. Аршу жыныстарының көлемін анықтау

және оларды жоюға жұмсалатын жиынтық шығындарды есептеу үшін карьерді тереңдетудің барлық ықтимал бағыттарының сызықтарын пайдалы қазбалардың тең кондициялы көлемдерінің оқшаулағыштарымен қиып өту жүргізіледі. Ол үшін карьердің жұмыс аймағының трафареті пайдаланылады.



1-сурет. Үлгілік карьердің көлденең қимасы

а, б, в, г, д, е, ж, з - тереңдетудің ықтимал бағыттарының сызықтары; φ - карьердің жұмыс борты еңісінің бұрышы; P_0, P_1 ,P_2 ,P_3 ,P_4 - пайдалы қазба көлемдерінің оқшаулау желісі; $г_0в_1г_2г_3г_4$ - тереңдету-1 бағытындағы сызық; $P_1k_{кд}$, $P_2k_{кд}$ $P_3k_{кд}$,$P_4k_{кд}$ - пайдалы қазбалардың тең кондициялы көлемдерінің оқшаулағыштары; $ж_1ж_2е_3е_4$ - 2-тереңдету бағытының сызығы

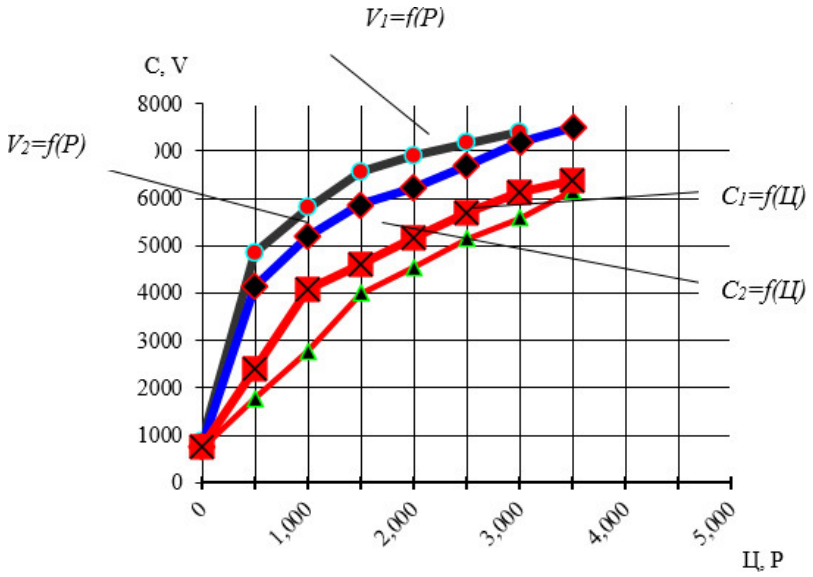
Кешенді кен орнын игеру шарттары үшін екі қағидат бойынша тереңдету бағыты айқындалды: 1а-суретте - оның сапасын (P_1 . . . , P_4) және пайдаланыла бастағаннан бастап ашудың ең төменгі орташа коэффициентін ($г_0в_1г_2г_3г_4$ - сызығы) ескермегенде пайдалы қазбалар көлемдерінің оқшаулау сызықтары негізінде - 1б-суретте - пайдалы қазбалардың тең кондициялы көлемдерінің оқшаулау сызықтарына негізделген ұсынылған әдіс бойынша ($P_1k_{кд}$,….$P_4k_{кд}$) және алу үшін c_BV_B ең аз мәндері,

Көрсетілген әдістер бойынша анықталған тереңдету бағыттарының сызықтарын салыстыру қорлар сапасының нормасы бағытты таңдауға

елеулі әсер ететінін көрсетеді. Бірінші жағдайда тереңдету сызығы кен денесі бойынша өтеді. 1-бағыт үшін V=f(P) функциясының графигі осы параметр кезінде аз көлемді куәландыра отырып, 2-бағыт үшін төмен орналасқан, Алайда, с=(Ц) функциясының графигінде 1-тереңдету бағыты үшін функциясының жағдайы 2-бағыт үшін жоғары, бұл осы бағыттағы үлкен шығындарды көрсетеді.

Тереңдету бағыттарын айқындау нәтижелерін бағалау үшін екі бағыт үшін V = f (P) және с = f (Ц) (2-сурет) функцияларының графиктері құрылған.

Бұл 1-ші тереңдетуді бағыттау кезінде өнімге бірдей шығындарға қол жеткізу үшін 2-ші тереңдетуді бағыттауға қарағанда уақыт бойынша ерте де үлкен салымдарды жүзеге асыру қажеттігін куәландырады.



V - аршу жұмыстарының көлемі;

С - пайдалы қазбаны өндіруге және байытуға арналған шығындар сомасы;

Р - пайдалы қазбаны жылдық өндіру;

Ц - өндірілген пайдалы қазбадан алынатын түпкілікті өнімнің құндылығы.

2-сурет. Уақытқа немесе басқа да нәтижелерге байланысты нәтижелдің жинақталған шамасын көрсететін модельдеу графигі

Екінші суретте уақытқа немесе басқа параметрлерге байланысты біршама нәрсенің (бұл жағдайда - өндірілген пайдалы қазбаның) жинақталған (жиынтық) шамасын көрсететін: V-аршу жұмыстарының көлемі; С-пайдалы қазбаны өндіруге және байытуға арналған шығындар сомасы; Р-пайдалы қазбаны жылдық өндіру; Ц-өндірілген пайдалы қазбадан алынатын түпкілікті өнімнің құндылығы. График, мысалы, тереңдетудің 1 және 2 бағытындағы қазбалардың өткен метрі - бұл пайдалы қазбаларға қол жеткізу үшін тау-кен қазбаларын қазып игеру өнімділігін дамыту.

Нәтижелер және талқылау. Аршу коэффициентін игеру басталғаннан бастап орташа ең төменгі критерийді пайдаланған кезде тереңдету бағытының таңдалған сызығы пайдалы қазбалар қорларының ең жоғары көлеміне бейім екені белгілі, көбінесе жұмыс борттары шекті жағдайларға жеткен нүктелерде, яғни аршу жұмыстарының қарқынды түрде игеру керек [5, 6].

Есептеулер мынаны көрсетті: тек негізгі компонент бойынша есептегенде, кейбір шекаралық блоктар k <1.0 көрсеткішіне ие болды (экономикалық тиімсіз). Алайда, ілеспе компоненттерді есепке алу кезінде осы блоктардың k >1.2-ге дейін өскені байқалды, бұл оларды кешенді игерудің экономикалық орындылығын растады. Осылайша, минералдық ресурстарды

кешенді пайдалану кезінде тау-кен жұмыстарын дамытудың оңтайлы бағытын айқындау тәсілдерінің бірі пайдалы қазбалардың тең кондициялы көлемдерінің құруға негізделген графоаналитикалық әдіс болып табылады. Графоаналитикалық талдау арқылы анықталған тау-кен жұмыстарын дамытудың оңтайлы бағыты жай техникалық параметрлерді минимизациялау негізінде таңдалған бағытпен салыстырғанда, жоба бойынша таза келтірілген құнды шамамен 15%-ға арттыруға мүмкіндік беретіні көрсетілді.

Бұл ретте жұмыс аймағын басқару тәсілдері академик К.Н. Трубецкий жүйелендірген және 1-кестеде көрсетілген жалпы заңдылықтарға сәйкес келеді. Негізгі реттеуші фактор ретінде карьерлердің даму деңгейін және олардың кеңістікте орналасуын басқару болып табылады. Жоғарыда көрсетілгендей, бұл фактор кемердің алға жылжу жылдамдығымен және тау-кен жұмыстарының тереңдеу қарқынымен айқындалады. Ұсынылған нақты алгоритмдермен, дереккөздермен және есептеу процедураларымен қамтамасыз етілген, бұл оны қайталауға және басқа да кешенді кен орындарына қолдануға мүмкіндік береді. Көрсетілген коэффициент (k) және оны пайдаланатын графоаналитикалық әдіс көп компонентті кен орындарын игеру стратегиясын негіздеу үшін тиімді және іс жүзінде қолданылатын құрал ретінде дәлелденді.

Тау-кен техникалық сипаттамаларға негізделген және таңдалған әдіспен айқындалатын берілген даму векторы кезінде мүмкін болатын карьердің әлеуетті өнімділігі ең жоғары экономикалық қайтарымға қол жеткізуге мүмкіндік береді, тау-кен техникалық факторлар мен сипатталған әдісті қолдана отырып, тау-кен жұмыстарын дамытудың айқындалатын бағыты негізінде есептелген карьердің қол жеткізілетін өнімділігі ең жоғары экономикалық тиімділікті қамтамасыз етеді. Графоаналитикалық талдау коэффициентінің максималды мәнін сақтай отырып, қазып алу ісін жүргізудің оңтайлы бағытын анықтауға мүмкіндік берді, бұл ресурстарды жалпы қазып алу коэффициентін арттыруға әкелді [5, 6].

1-кесте. Өндіру режимдерін оңтайландыру және тұрақты өнімділікті қамтамасыз ету кезінде терең карьерлердегі жұмыс саласын бақылау тәсілдері

Тау-кен жұмыстарының режимін реттеу әдістері	**Жұмыс кеңістігін қалыптастыруды басқару тәсілдері**	**Тау-кен геометриялық есептеулер кезінде борттың орнын ауыстыру тәртібі**
1	2	3
а) тау-кен жұмыстарын төмендету бағытының өзгеруі	1. Дайындық қазбасын салу орнын және жұмыс алаңының параметрлерін таңдау	Тұрақты жылдамдықпен барлық бағыттар бойынша үздіксіз орын ауыстыру
	2. Кен денесіне қатысты фронт жағдайын және жұмыс бағытын таңдау	
в) кен орнын игерудің жалпы тәртібін өзгерту	1. Жұмыс аймағын тереңдету	1. Борт учаскесінде тереңдігі бойынша және жоспарда тұрақты жылдамдықпен үздіксіз орын ауыстыру
	2. Жұмыстардың алаңдық дамуы	
	3. Кезеңдік қазып-игеру	
	4. Оқшауланған карьер-учаскелермен өңдеу	2. Борттың немесе оның учаскесінің кезең-кезеңмен жылжуы

c) Кен массасын алу орнының карьер ауданы бойынша өзгеруі	1. Жоспарда кемер учаскелерін өңдеу	1. Тереңдігі бойынша және жоспарда ауыспалы жылдамдықпен борт учаскесін жылжыту 2. Борт учаскесін кезең-кезеңмен ауыстыру
	2. Борттар учаскесін биіктігі бойынша өңдеу	
	3. Борттар мен кемерлер учаскелерін консервациялау	
d) өңделетін борттардың конструкциясы мен еңісінің өзгеруі	1. Жұмыс алаңдарының жобалық енін өңдеу	1. Шоғырлану аймақтарын өңдеу
	2. Ауыспалы ені бар алаңдармен өңдеу	2. Шоғырлану аймақтарын өңдеу
	3. Тік бортпен өңдеу	3. Тік бортты жылжыту

Қорытынды. Тереңдетудің оңтайлы бағытын анықтаудың ұсынылған графоаналитикалық әдісін қолдану саласын атап өткен жөн. Темір жол көлігін пайдаланған жағдайда көлік схемасын ескере отырып, карьерді дамыту стратегиясын қалыптастыруға қойылатын талаптар ескерілмейді. Циклдық-ағынды технологияны қолдану кезінде нұсқалық есептеулер жүргізу талап етіледі. Дегенмен, бұл талдау процесінде анықталған қолданыстағы критерилиалды тәуелділіктер мен негізгі заңдылықтарды жоймайды [5, 6, 7].

Жоғары көрсеткіштер мен тиімділікке қол жеткізуге әсер ететін түйінді фактор көп компонентті кен орындарын пайдалану кезінде ресурстарды ұтымды пайдалану қағидаттарына толық сәйкес келетін тау-кен процестерінің даму бағытын дұрыс айқындау болып табылады.

Көп компонентті кендердің әртүрлі типтері мен сорттарын селективті өндіру және қайта өңдеу жағдайларында кешенді кен орындарын игеру кезінде ашу коэффициентінің ең төменгі критерийі тау-кен жұмыстарын дамытудың ұтымды тәртібін таңдау үшін пайдаланылмайды, өйткені ол пайдалы қазбаларды өндіруге және қайта өңдеуге жұмсалатын шығындардағы айырмашылықтарды және тауарлық өнімнің бірнеше түрін алуды ескермейді бірдей емес құндылық.

Минералдық ресурстарды кешенді игеру кезінде карьердегі тау-кен жұмыстарын дамытудың оңтайлы бағытын айқындау әдістерінің бірі - бұл бірдей сапа нормасымен пайдалы қазбаларды өндірудің тең көлемін көрсететін оқшаулағыштарды құруға негізделген графоаналитикалық тәсіл. Дәстүрлі тәсілдерге қарағанда кешенді кен орындарын игеру шарттарында тиімдірек екендігі салыстырмалы талдау арқылы көрсетілді.

Көрсетілген суреттерде тау-кен жұмыстары басталғаннан бері тау-кен қазбаларын төсеудің екі әртүрлі учаскесі (бағыты) үшін жинақталған өндірілген пайдалы қазбалардың жиынтық көлемін көрсетеді. Бұл кесте олардың тиімділігін, игеру жылдамдығын және таңдалған уақыт аралығындағы жалпы өндіруге жалпы үлесін көрнекі бағалауға мүмкіндік береді. Басқа кен орындарына бейімдеу үшін нарықтық бағалар мен өңдеу технологияларының өзгеруіне сезімталдықты талдау жүргізу ұсынылады [8 - 11].

Әдебиеттер

1. Шитарев В.Г., Салманов О.Н. Параметры карьеров при комплексном использовании недр. // Недра. -1990. - 112 с. ISBN: 5-247-00778-6.

2. Кожантов А.У. Открытая разработка комплексных месторождений при взаимосвязанных процессов горного производства (при добыче комплексных полезных ископаемых из недр земли). // Монография. - Алматы: НАО КазНИТУ им. К.И. Сатпаева. - 2025. - 134 с. ISBN 978-601-323-571-4.

3. Гурьевский Б.А., Мустафина А.М., Долгов Ю.Ф., Евсин В.Г., Каратаев М.М. Скоростное строительство и освоение глубоких карьеров. // Алма-Ата. - 1977. - 255с.

4. Кенжебаев А. Комплексное обеспечение рационального недропользования при открытой разработке крутопадающих залежей. Дис… докт.техн.наук: 05.15.03.- // Алматы, 1997. - 381с.

5. Трубецкой К.Н. и др. Справочник - Открытые горные работы / М. Недра. - 1994. -590с. ISBN 5 -900697-01-0

6. Дауренбекова А. Н., Кожантов А.У. Основы горной технологии. //Учебное пособие. Алматы: КазНИТУ имени К.И. Сатпаева. -2017.–174с. ISBN 978-601-323-073-03

7. Дауренбекова А. Н., Кожантов А.У. Тау-кен технологиясының негіздері: Оқу құралы. //Алматы: Қ.И.Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ. - 2017. - 161 б. ISBN 978-601-323-056-6

8. Liu J. B., Dai H. Y., Wang H., Shynar A. and Madimarova G. Three-Dimensional Geological Modeling of Mining Subsidence Prediction Based on the Blocks // Advanced Materials Research. - 2014.- Vol.905.- P.697-701. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.905.697.

9. Lozynskyi V, Falshtynskyi V, Kozhantov A, Kieush L and Saik P. Increasing the underground coal gasification efficiency using preliminary electromagnetic coal mass heating // IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. - 2024.- Vol.1348(1): 012045.012045 DOI 10.1088/1755-1315/1348/1/012045.

10. Sayk P., Lozinsky V., Anisimov O., Akimov O, Kozhantov A., Mamaikin O. Managing the process of underground coal gasification // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu - 2023. - № 6. - P.25-30. DOI 10.33271/nvngu/2023-6/025

11. Rakishev B.R., Auezova A.M., Kuttybaev A.E., Kozhantov A.U. Specifications of the rock massifs by the block sizes// Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. - 2014. -№ 6. - P.22-27.

References

1. Shitarev V.G., Salmanov O.N. Parametry kar’ erov pri kompleksnom ispol’ zovanii nedr. // Nedra. - 1990. - 112 s. ISBN: 5-247-00778-6. [in Russian]

2. Kozhantov A.U. Otkrytaja razrabotka kompleksnyh mestorozhdenij pri vzaimosvjazannyh processov gornogo proizvodstva (pri dobyche kompleksnyh poleznyh iskopaemyh iz nedr zemli). // Monografija. - Almaty: NAO KazNITU im. K.I. Satpaeva. - 2025. - 134 s. ISBN 978-601-323-571-4. [in Russian]

3. Gur’ evskij B.A., Mustafina A.M., Dolgov Ju.F., Evsin V.G., Karataev M.M. Skorostnoe stroitel’ stvo i osvoenie glubokih kar’ erov. // Alma-Ata. - 1977. – 255 s. [in Russian]

4. Kenzhebaev A. Kompleksnoe obespechenie racional’ nogo nedropol’ zovanija pri otkrytoj razrabotke krutopadajushhih zalezhej. Dis… dokt.tehn.nauk: 05.15.03.- // Almaty, 1997. - 381s. [in Russian]

5. Trubeckoj K.N. i dr. Spravochnik - Otkrytye gornye raboty / M. Nedra. - 1994. -590c. ISVN 5 -900697-01-0/ [in Russian]

6. Daurenbekova A. N., Kozhantov A.U. Osnovy gornoj tehnologii. //Uchebnoe posobie. Almaty: KazNITU imeni K.I. Satpaeva. -2017.–174s. ISBN 978-601-323-073-03/ [in Russian]

7. Daurenbekova A. N., Kozhantov A.U. Tau-ken tehnologijasynyң negizderi: Oқu құraly. //Almaty: Қ.I.Sətbaev atyndaғy ҚazҰTZU. - 2017. - 161 b. ISBN 978-601-323-056-6. [in Kazakh]

8. Liu J. B., Dai H. Y., Wang H., Shynar A. and Madimarova G. Three-Dimensional Geological Modeling of Mining Subsidence Prediction Based on the Blocks // Advanced Materials Research. - 2014.- Vol.905.- P.697-701. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.905.697.

9. Lozynskyi V, Falshtynskyi V, Kozhantov A, Kieush L and Saik P. Increasing the underground coal

gasification efficiency using preliminary electromagnetic coal mass heating // IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. - 2024.- Vol.1348(1): 012045.012045 DOI 10.1088/1755-1315/1348/1/012045.

10. Sayk P., Lozinsky V., Anisimov O., Akimov O, Kozhantov A., Mamaikin O. Managing the process of underground coal gasification // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu - 2023. - № 6. - P.25-30. DOI 10.33271/nvngu/2023-6/025

11. Rakishev B.R., Auezova A.M., Kuttybaev A.E., Kozhantov A.U. Specifications of the rock massifs by the block sizes// Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. - 2014. -№ 6. - P.22-27.

Автор туралы мәліметтер

Кожантов А.У. - т.ғ.к., Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: a.kozhantov@satbayev.university;

Абен Е.Х. - т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: y.aben@satbayev.university;

Мырзахметов С.С. - т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: s.myrzakhmetov@satbayev.university;

Ахметканов Д.К. – т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан Республикасы, e-mail: d.akhmetkanov@satbayev.university.

Information about the authors

Kozhantov A.- Candidate of Technical Sciences, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: a.kozhantov@satbayev.university;

Aben Y. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: y.aben@satbayev.university;

Myrzakhmetov S. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: s.myrzakhmetov@satbayev.university;

Akhmetkanov D. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: d.akhmetkanov@satbayev.university.

ҒТАМР 52.31.01 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1199**

ПАЙДАЛЫ ҚАЗБАЛАР КЕН ОРЫНДАРЫНДАҒЫ КҮРДЕЛІ ҚҰРЫЛЫМДЫ КЕН БЛОКТАРЫН ИГЕРУ ҮДЕРІСІНДЕ ШИКІЗАТ САПАСЫН БАСҚАРУ

[1]Т.С. Ибырханов, [2]А.И. Ибырханова

[1]КеАҚ «Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті», Алматы, Қазақстан,
[2]Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

Корреспондент-автор: ibir.tem@mail.ru

Соңғы жылдары кен өндіру өнеркәсібінде айрықша маңызды жаңартулар жүзеге асты. Заманауи ғылыми-техникалық прогресс жер қойнауын пайдалану саласын да айналып кеткен жоқ. Инновациялық көп функцияналды ақпараттық жүйелерді белсенді енгізу пайдалы қазбаларды өндіру мен өңдеуге тікелей қатысты секторларға да, сондай-ақ кен орындарын жобалау және модельдеу салаларына да әсер етті.

Қазақстан халқына Жолдауында Қасым-Жомарт Тоқаев елімізде геологиялық барлау мен пайдалы қазбаларды өндіруді дамыту үшін кен өндіру өнеркәсібіне қатысты бірқатар маңызды шараларды ұсынды.

Сондықтан қорларды ұтымды әрі үнемді пайдалану үстінен қатаң бақылау орнату, сондай-ақ түпкілікті қаржылық нәтижеге бағдарланған тау-кен жұмыстарын үздіксіз және икемді жоспарлау - дамыған елдердің әлемдік нарығындағы қатаң бәсеке мен өзгермелі конъюнктура жағдайында табысты қызметтің негізі. Бүгінде кен өндіруші кәсіпорындарға технологиялық дамудың әлемдік деңгейіне жылдам шығу қажет. Әлемдік экономикадағы терең өзгерістер геология-барлау және кен өндіру компанияларының жұмысына көптеген жаңашылдықтарды әкелуде. Қазіргі күрделі жағдайда тау-геологиялық бейіндегі ұйымдар үшін оңтайлы стратегия - тиімділікті арттыру: шығындарды жан-жақты қысқарту әрі жөнелтілетін кеннің сапасын бір мезгілде өсіру.

Кен өндіру өнеркәсібінің аса маңызды міндеті - тауарлық өнімнің талап етілетін сапасына қол жеткізуге жағдай жасау, жоғалтуларды болдырмау немесе барынша азайту және өңдеуге түсетін материалдағы бағалы компонентті толық алуды қамтамасыз ету. Күрделі құрылымды кен блоктары бар кен орындарын игеру жағдайында бұл міндет түбегейлі мәнге ие, өйткені мұндай кен орындарының минералдық шикізатын өңдеу едәуір материалдық шығындарды талап етеді; өндірілетін массаның сапалық көрсеткіштерінің тұтынушы талаптарынан болар-болмас ауытқуының өзі де кен орнын игерудің жалпы теріс экономикалық нәтижелеріне алып келуі мүмкін. Сондықтан күрделі құрылымды кен блоктарынан өндірілетін шикізат сапасын басқару - өзекті ғылыми-практикалық міндет.

Түйін сөздер: кен орны, күрделі құрылым, пайдалы қазба, кен массасы, сапаны басқару жүйесі, тауарлық өнімнің сапасы, жер қойнауын ұтымды және кешенді игеру.

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ СЫРЬЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ РУДНЫХ БЛОКОВ МЕСТОРОЖДЕНИИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

[1]Т.С. Ибырханов, [2]А.И. Ибырханова

[1]НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева», Алматы, Казахстан,
[2]Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
e-mail: ibir.tem@mail.ru

За последние годы горнодобывающая промышленность претерпела особенно значимые обновления. Современный научно-технический прогресс не обошел и сферу недропользования. Активное внедрение инновационных многофункциональных информационных систем затронуло как

сектора, непосредственно связанные с добычей и переработкой полезных ископаемых, так и сферы проектирования и моделирования месторождении полезных ископаемых.

В послании народу Казахстана Касым-Жомарт Токаев предложил ряд значимых мероприятий в горнодобывающей промышленности для развития геологоразведки и добычи полезных ископаемых в нашей стране.

Поэтому строгий контроль за рациональным и экономным использованием запасов, а также непрерывное и гибкое планирование горных работ, ориентированное на конечный финансовый результат, это основа прибыльной деятельности в условиях жесткой конкуренции и изменчивой конъюнктуры мирового рынка развитых стран. Сегодня горно добывающим предприятиям необходим стремительный выход на мировой уровень технологического развития. Глубокие изменения в мировой экономике приносят в работу геологических и горнодобывающих компаний множество нововведений. В текущих сложных условиях оптимальная стратегия для организаций горногеологического профиля повышение эффективности: всестороннее сокращение издержек при одновременном росте качества отгружаемой руды.

Важнейшей задачей горнодобывающей промышленности является обеспечение условий достижения необходимого качества товарной продукции, исключить или минимизировать потери и обеспечить полное извлечение полезного компонента поступающей на переработку. Применительно к условиям разработки месторождений сложноструктурных рудных блоков эта задача будет принципиальной, так как переработка минерального сырья таких месторождений связана со значительными материальными затратами, даже малейшее отклонение качественных характеристик добываемой массы от требований потребителя может привести к отрицательным экономическим результатам разработки месторождения в целом, поэтому управление качеством добываемого сырья в сложноструктурных рудных блоков является актуальной научно-практической задачей.

Ключевые слова: месторождение, сложноструктурные, полезное ископаемое, рудная масса, система управления качеством, качество товарной продукции, рациональное и комплексное освоение недр.

ORE QUALITY MANAGEMENT IN THE MINING OF COMPLEX-STRUCTURED ORE BLOCKS AT MINERAL DEPOSITS

[1]T.S. Ibyrkhanov✉, [2]A.I. Ibyrkhanova

[1]K.I.Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan,
[2]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
e-mail: ibir.tem@mail.ru

Over the past few years, the mining industry has undergone especially significant updates. Modern scientific and technological progress has not bypassed the field of subsoil use (the mineral resources sector). The active introduction of innovative, multifunctional information systems has affected both the sectors directly involved in the extraction and processing of mineral resources and the areas concerned with the design and modeling of mineral deposits.

In his Address to the People of Kazakhstan, Kassym-Jomart Tokayev proposed a number of important measures in the mining industry to advance geological exploration and mineral extraction in our country.

Therefore, strict oversight of the rational and economical use of reserves, as well as continuous and flexible mine planning oriented toward the ultimate financial result, form the foundation of profitable operations amid fierce competition and the volatile conditions of global markets in developed economies. Today, mining enterprises must make a rapid leap to a world-class level of technological development. Profound changes in the global economy are bringing numerous innovations into the work of geological and mining companies. In the current challenging environment, the optimal strategy for mining-geological

organizations is to boost efficiency: comprehensive cost reduction while simultaneously improving the quality of ore delivered.

A paramount task for the mining industry is to create the conditions necessary to achieve the required quality of marketable products, eliminate or minimize losses, and ensure full recovery of the valuable component in the material fed to processing. In the context of developing deposits composed of complex-structured ore blocks, this task is fundamental, since processing mineral raw materials from such deposits entails substantial costs; even the slightest deviation in the quality characteristics of the mined material from customer requirements can lead to negative economic outcomes for the deposit's development as a whole. Therefore, managing the quality of raw materials extracted from complex-structured ore blocks is a pressing scientific and practical challenge.

Keywords: deposit, complex structure, mineral resource, ore mass, quality management system, quality of commercial products, rational and comprehensive development of subsoil.

Кіріспе. Минералды шикізаттың талап етілетін сапасын қамтамасыз ету-тау-кен өндірісінің шешуші міндеті, әсіресе күрделі құрылымды кен орындарын игеру кезінде.

Мұндай жағдайда өндірілген масса көрсеткіштерінің тұтынушы талаптарынан шамалы да ауытқуы өндіру мен өңдеудің экономикалық тиімділігін жойып жіберуі мүмкін. Осындай жағдайларда сапаны басқару стратегиялық сипат алып, бір уақытта руда массасындағы құнды компоненттердің үлесін арттыруға және байыту фабрикасына тұрақты сападағы ағын қалыптастыруға бағытталған жүйелі тәсілді талап етеді. Сонымен қатар, пайдалы қазбаларды игеру кезеңіндегі жалпы ағынды тауарлық өнім сапасын арттыру, ілеспе компоненттерді пайдалануға ендіру, сондай-ақ қалдықтар мен аумақпен ұтымды жұмыс істеу арқылы өсіруге болады.

Сондықтан, берілген жұмыстың мақсаты-күрделі құрылымды кен орындары үшін ағын сапасының тұрақтылығына, өндірудің экономикалық тиімділігін арттыруға бағытталған минералды шикізат сапасын басқару жүйесінің құрылымы мен құралдарын негіздеу және сипаттау болып табылады.

Материалдар мен әдістер. Жер қойнауындағы пайдалы қазбалардың шығын мөлшерін азайтуы арқылы толық өндіру мәселесі пайдалы қазба кен орнын игеру объектілерінің цифрлық модельдерін жетілдіру міндеттерін одан әрі өзектендіреді.

Зерттеудің әдіснамалық негіздер және зерттеу әдістері.

Зерттеу әдіснамасы күрделі геологиялық-құрылымдық әртектілік жағдайында минералдық шикізат сапасын басқару тұжырымдамасына негізделеді.

Ол төмендегі қағидалар мен тәсілдерді қамтиды:

- геостатистикалық модельдеу қағидаттары;

- селективті игеру және табиғи-технологиялық аймақтарға бөлу тұжырымдамасы;

- сапаны онлайн-бақылау және жүк ағындарын жедел басқару әдістері;

- геоақпараттық модельдеу және кенорындардың блоктық 3D-модельдері әдістері;

- жер қойнауын кешенді игеру және сапаға бағытталған өндіруді басқару қағидаттары.

Қорлардың қозғалысын есепке алуды геологиялық және маркшейдерлік қызметтер өндіру барысында үздіксіз жүргізеді. Кен өндіруде, өндірістік, эксплуатациялық барлау жұмыстары кезінде туындайтын, сондай-ақ кондицияларды түзетуге байланысты қорларды қайта есептеу нәтижесінде пайда болатын өзгерістердің барлығын цифрлық модельге енгізеді [1,2].

Геометаллургиялық тәсіл пайдалы қазба сапасын басқару жүйесінің «қаңқасы» ретінде көрінеді: ол геологиялық әртектілікті, технологиялық көрсеткіштерді және өндіру/араластыруды жоспарлауды өзара ұштастырып, байыту фабрикасын шикізатпен тұрақсыз қамтамасыз ету тәуекелін төмендетеді; жақындағы шолулар геоме-

таллургиялық карталаудың және оны гранулометриялық бақылау модельдерімен ықпалдастырудың шешуші рөлін атап өтеді [3,4].

Карьердің шекараларын айқындайтын негізгі фактор - өнеркәсіптік санаттағы барланған руда қорларының кеңістіктегі орналасуы болып табылады. Қазіргі кондициялық бақылау сынама алудың сапасына, жарылыстан кейін жыныс массивінің ығысуын ескеруге және іріктеу шекараларын дәл анықтауға шоғырланады. Іріктеу кезіндегі қателері мен бағалаудың шартты ығысуы - «сапа жоғалтуларының» басты көздері болып саналады [5].

Жерасты және қуаты аз (жұқа) күрделі құрылымды кен денелері үшін негізгі тренд - шағын габаритті өздігінен жүретін техника қолданылатын таңдамалы қазып алу және қабаттап іріктеу; бұл кеннің ыдыратуын азайтып, кондициялық кеннің шығымын арттырады [6,7].

Пайдалы қазбалардың сенсорлық сұрыптау (XRT/XRF/HIS және т.б.) алдын ала байыту мен фабрикаға берілетін шикізат сапасын тұрақтандырудың тиімді құралы ретінде орнықты. Шолулар мен қолданбалы зерттеулер құрамның айтарлықтай жақсарғанын және фабрикаға түсетін жүктеменің азайғанын көрсетеді. Бірқатар жағдайларда алынымның/өнімділіктің ~5-20% деңгейінде артқаны тіркелген [8-10].

Пайдалы қазбаларды араластыруды оңтайландыру кезінде ”сапа терезелерін” бір уақытта ұстап тұру, ауытқуларды азайту және шығындарды тұрақтандыру үшін көп өлшемді data-driven модельдеріне (NSGA-II, кеңейтілген мат элементтері, цифрлық егіздерге) ауысады [11,12].

Машиналық оқыту сапаны бағалау мен болжауды күшейтеді: ML-регрессорлары және қашықтан зондтау (ДЗЗ) әдістері блок-модельдерді нақтылауға және «кен/қоршаушы жыныс» бойынша жедел жіктеуді жүзеге асыруға көмектеседі. ML әдістерін классикалық геостатистикалық модельдермен салыстыру бірқатар кен орындарында MAPE/RMSE көрсеткіштері бойынша артықшылық беретінін көрсетеді [13-15].

Жерасты өндіруде ресурстық және құрамдық бақылау модельдерін жедел («on the fly») жаңарту (model updating) тәжірибеге айналып келеді. Жедел сынама деректері, өндірістік метрикалармен және байыту фабрикасының кері байланысын біріктіреді [16].

Орыс тіліндегі әдебиеттерде көбіне алдын ала аудандастыруға, кен дайындауды жетілдіруге және сапаны басқарудың кешенді жүйелеріне (блоктық модельдер, сорттар бойынша іріктеу, шығын азайту) басымдық беріледі [17-19].

Кен орны карьерді қалыптастыру селективтіліктің және жөнелтілетін кен сапасының қажетті деңгейін қамтамасыз ететін кезеңділікті (кезектер/фазалар) әрі уақытша контурларды көздейді. Қабылданған шешімдер маркшейдерлік және геомониторинг жұмыстары барысында, пайдалану кезіндегі кері байланыс нәтижелері негізінде, сондай-ақ тау-кен-геологиялық жағдайлар өзгерген кезде нақтыланады.

Кен орны карьерлерінің 3D блок моделінің фрагментінде төмендегі шартты белгілер (1-суретте) қолданылған:

- кондициялық блок - сапалық көрсеткіштері талапқа сай келетін, негізгі өндіруге жататын руда бөлігі;

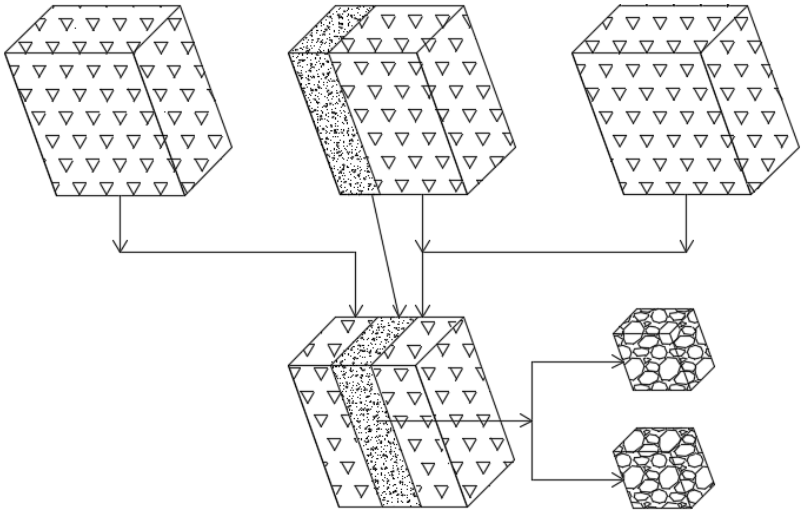
-автосамосвалға тиелетін кондициялық құрамды блок - өндіру барысында тікелей қазылып, автосамосвалдарға тиеп фабрикаға жөнелтілетін кондициялық руда бөлігі;

- кондициялық емес құрамды қабат - сапалық көрсеткіштері нормативтен төмен, бірақ кондициялық рудамен реттелген түрде араластыру арқылы жалпы рудалық массаның талап етілетін сапасын қамтамасыз ету үшін пайдаланылатын қабат.

Карьерді қалыптастыру селективтіліктің және жөнелтілетін кен сапасының қажетті деңгейін қамтамасыз ететін кезеңділікті (кезектер/-фазалар) әрі уақытша контурларды көздейді. Қабылданған шешімдер маркшейдерлік және геомониторинг жұмыстары барысында, пайдалану кезіндегі кері байланыс нәтижелері негізінде, сондай-ақ тау-кен-геологиялық жағдайлар өзгерген кезде нақтыланады.

Карьерді қалыптастыру селективтіліктің

және жөнелтілетін кен сапасының қажетті деңгейін қамтамасыз ететін кезеңділікті фазалар әрі уақытша контурларды көздейді. Қабылданған шешімдер маркшейдерлік және геомониторинг жұмыстары барысында, пайдалану кезіндегі кері байланыс нәтижелері негізінде, сондай-ақ тау-кен-геологиялық жағдайлар өзгерген кезде нақтыланады.



1-сурет. Күрделі құрылымды кен блоктарын игеру кезінде шикізат сапасын басқарудың ұсынылған үдерісінің схемасы

Кен орны моделінің 3D блок моделінің фрагменті:

- кондициялық блок,
- автосамосвалға тиелетін кондициялық құрамды блок,
- кондициялық емес құрамды қабат.

Карьердің қалыптасуын тиелетін кеннің селективтілігі мен сапасының қажетті деңгейін қамтамасыз ететін кезеңділікті, фазаларды және уақыт контурларын көздейді. Қабылданған шешімдер маркшейдерлік және геомониторинг барысында, пайдаланудың кері байланысының нәтижелері бойынша және тау-кен-геологиялық жағдайлары өзгерген кезде нақтылауға жатады.

Өндірілетін шикізаттың сапасын басқарудың негізгі мақсаты өзара байланысты және өзара тәуелді екі міндетті шешу болып табылады:

- өндірілетін және өңдеуге берілетін кен массасындағы бағалы компоненттердің құрамын арттыру;

- байыту фабрикасына кеннің түсетін сапасы бойынша тұрақты пайдалы қазбаның ағынын қалыптастыру.

Осы міндеттерді бірлікте шешу кен орны массивінде жүргізілген егжей-тегжейлі геологиялық зерттеулердің негізінде минералдық шикізаттың әртүрлі технологиялық түрлерін сұрыптау арқылы мүмкін. Қатты пайдалы қазбалардың бірқатар кен орындары бойынша жүргізілген зерттеулер нәтижелері көрсеткендей, технологиялық операцияларды орындауға және минералдық шикізат сапасын басқару үдерістеріне байланысты шығындардың өсуі тау-кен кәсіпорнының шикізат өнімінің құнының артуымен толық өтеледі.

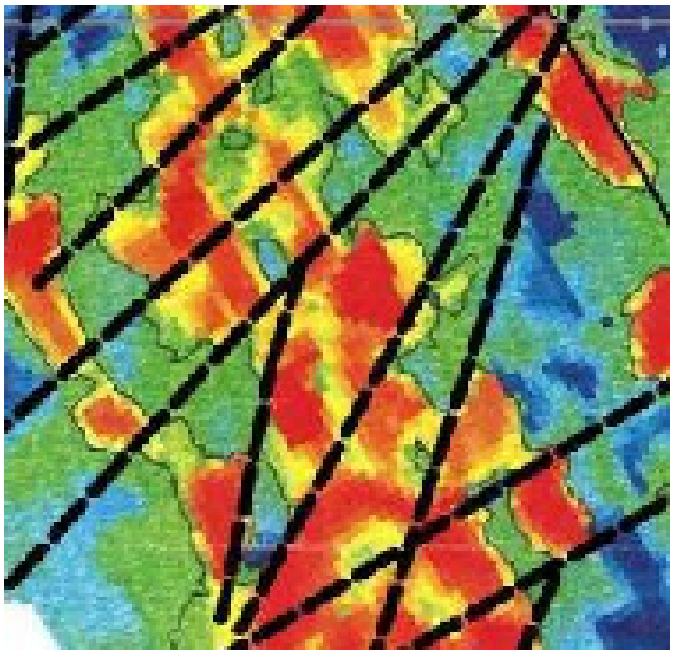
Идеяны іске асырудың негізгі шарты лицензиялық жер қойнауындағы учаскесін игеру кезеңінде шикізат өнімінің құнының өсуі есебінен жиынтық дисконталған ақша ағынының едәуір артуы; оған, соның ішінде, тауарлық өнім сапасының жоғары болуы, өндірілген шикізатты ке-

шенді пайдалануы, ілеспе пайдалы қазбаларды өндіру, жинақталған және ағымдағы қалдықтарды пайдаланымға тартуы, аумақтарды рекультивациялау және жер қойнауын әрі қоршаған ортаны қорғау шараларын қамтамасыз етуі жатады [20-22].

Бір типтегі қатты пайдалы қазбалардың жер қойнауында пайда болу жағдайларының айтарлықтай айырмашылығына байланысты, сондай-ақ кен орны шегінде олардың сапасының үлкен өзгергіштігіне байланысты сапаны басқарудың бірыңғай жүйелерін құру орынсыз екенін есте ұстаған жөн.

Мұндай жүйелерді ұқсас белгілері бойынша (пайдалы қазбалардың түрі, құнды компоненттердің үлесі, минералдар мен негізгі жыныстардың минералдануы, генезисі және т.б.) біріктірілген кен орындары топтары бойынша дифференциалды түрде игеру тиімдірек. Ал содан кейін, осыны ескере отырып, негізінен физикалық-техникалық және физикалық-химиялық геотехнологияларды біріктіруге негізделген кен орнын игеру үйлесіміне сүйене отырып әдісін анықтау қажет.

Мысал ретінде алынған рудалы кен орнының блоктық геологиялық-құрылымдық 3D моделінің фрагментінен (2-сурет) жыныс массивінде пайдалы компоненттің барлық жерде кездесетіні, бірақ оның үлесі бойынша біртекті емес екені байқалады.



2 - сурет. Кен орны моделінің 3D блок моделінің фрагменті:
- құрамы A%-дан жоғары сапалы кен, - құрамында A% > PI > B% бар жақсы сапалы кен, - құрамында B% > PI > C% бар жақсы сапалы кен, - құрамында < C% және бос жынысы бар стандартты емес кен, , тақыр бөгеттер, - геологиялық бұзылулар

Нәтижелер және талқылау. Осы зерттеулердің негізінде кен орнын игеру үшін келесі сапаны басқару жүйесі ұсынылады.

Карьер алаңын табиғи-технологиялық аймақтарға бөлу (рудалы, руда-жынысты және жынысты), бұл өндірілетін минералдық шикізаттың сапа жөніндегі жобалық көрсеткіштерін дифференцияланған түрде айқындауға және минералдануы жоғары рудалы аймақтарда тау-кен жұмыстарын қарқынды жүргізуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, талап етілетін орташа сапа көрсеткіштеріне қол жеткізу үшін белгілі бір рудалану аймағында қопарылған рудалық массаның көлемін икемді басқару мүмкіндігі туын-

дайды. Бұдан бөлек, тау-кен жұмыстарының бағытын жоспарлы басқару қазу техникасының біртекті ортада жұмыс істеуіне жағдай жасап, қазу тереңдігін оңтайландыруға және, тиісінше, жабдықтың өнімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Рудалық массаның бірлік бөлігінің сапалық сипаттамаларын анықтау нәтижелерінің сенімділігіне қойылатын талап жоғары, өйткені кондициялық және некондициялық пайдалы қазбалардың құрамы арасындағы айырма салыстырмалы түрде шағын. Сондықтан қозғалыстағы тау-кен массасының беті бойынша тікелей өлшеу жүргізетін радиометриялық бақылау-өлшеу кешенін орнату қажет; бұл автосамосвалға тиеу кезінде руданың пайдалы компонентінің құрамын тікелей анықтауға мүмкіндік береді [23, 24].

Бір автосамосвалды тиеу барысында арнайы (XRT/XRF/HIS және т.б.) жабдықтың көмегімен өлшеулер жүргізіліп, әр автосамосвал кузовындағы құнды компоненттің орташа құрамы айқындалады; бұл көрсеткіш мониторда бейнеленеді, содан кейін автосамосвалға түсіру орны беріледі:

- рудалық массадағы кондициялық құнды компоненттің құрамы борттық құрамнан жоғары болса - байыту фабрикасының орташалау қоймаларына;

- құрамы борттық кондициялық құрамнан төмен, бірақ өнеркәсіптік құрамнан жоғары болса - кейінгі перспективалық пайдалану үшін қоймаға жинақтауға;

- құрамы борттық кондициялық құрамнан төмен рудалық масса арнайы үйіндіге жіберіледі [25].



3 - сурет. Кен орнын игеру кезіндегі минералды шикізат ағындарының сапалық сипаттамаларын бақылау блок - схемасы

Осылайша, пайдалы кен орнын игеру кезінде тау-кен массасы ағындарының сапалық сипаттамаларын басқарудың ұсынылған схемасы 3-суретте келтірілген және осындай мүмкіндіктер береді:

- карьер алаңын табиғи - технологиялық аймақтарға (рудалы, руда-жынысты, жынысты) бөлу негізінде жер қойнауынан пайдалы қазбаларды өндірудің жобалық көрсеткіштерін дифференцияланған түрде айқындау және тау-кен жұ-

мыстары фронтының дамуының ұтымды бағытын жоспарлау;

- тау-кен жұмыстарының даму жоспарын жасағанда технологиялық көрсеткіштер мен пайдалы қазбалардың алыну көрсеткіштерін нақтылау;

- нақты өндірілген тау-кен массасы ағындарын, құрамындағы құнды компоненттерге қарай, жекелеген технологиялық түрлерге бөлу;

- нақты уақыт режимінде технологиялық сорттар бойынша және жалпы карьер көлемінде рудалық масса өндіру көлемдері туралы техникалық есептер алу;

- тау-кен жұмыстары фронтының даму бағытын, тау-кен-көлік кешенінің жұмыс режимін және жүк ағындарының сипаттарын өзгерту жөніндегі басқарушылық шешімдерді дер кезінде қабылдау.

Қорытынды. Осылайша, жаһандық сынқатерлер мен тәуекелдер жағдайында тау-кен техникалық жүйелердің тұрақты дамуын қамтамасыз ету және күрделі құрылымды қатты пайдалы қазбалар кен орнын игеру кезінде жоғары экономикалық нәтижелерге қол жеткізу үшін, осы мақалада баяндалған қағидаттар негізінде минералдық шикізат сапасын басқару мәселесін шешу жер қойнауын пайдаланудың, сондай-ақ жер қойнауындағы ресурстарды (георесурстарды) игерудің барлық кезеңдеріндегі маңызды міндет болып табылады.

Тереңде жатқан күрделі құрылымды кен орындарының қорларын кешенді игеру әдіснамасының одан арғы дамуы кәсіпорынның тау-кен-техникалық жүйесін тау-кен жұмыстарының даму үрдісі жағдайында қызмет ету шарттарының өзгеруіне бейімдеуге бағытталған жаңашыл шешімдерді әзірлеу және іске асыру барысында негізгі технологиялық үдерістердің өзара байланысын және оларды есепке алу тәсілдерін зерттеу қажеттілігімен байланысты.

Әдебиеттер

1. Ракишев Б.Р. Полное извлечение кондиционных руд из сложноструктурных блоков за счет частичного примешивания некондиционных руд // Записки Горного института. - 2024. - Т.270. - С.919-930. ISSN 2411-3336, 2541-9404.

2. Ракишев Б.Р. Новые определения естественного и трансформированного месторождения полезного ископаемого и этапы их эксплуатации // Горный информационно-аналитический бюллетень. -2023. -№ 8. - С.165-177. DOI 10.25018/ 0236_1493_2023_8_0_165.

3. Frenzel M., Baumgartner R., Tolosana-Delgado R., Gutzmer J. Geometallurgy: Present and Future // Elements. -2023. -Vol.19 (6). -P.345-351. DOI 10.2138/gselements.19.6.345.

4. Anvari K., Benndorf J., A Review of Developments Within the Last Decade // Mining. -2025. -Vol.5(3): 38. DOI 10.3390/mining5030038.

5. Potakey N. E., Ortiz J. M., A review of grade control methods in open cast mining // Predictive Geometallurgy and Geostatistics Lab, Queen's University, Annual Report. -2022. -Vol.04. - P.59-70.

6. Рогизный В.Ф., Хромов В.М., Карпухина М.В. Технологии селективной выемки маломощных рудных тел с применением малогабаритного самоходного оборудования // Горная промышленность. - 2020. - № 1. - С.34-41. ISSN 1609-9192, 2587-9138.

7. Желябовский Ю.Г. Система подземной разработки с селективной выемкой руды // Золото и технологии. -2020. - №4 (46).- С.36-40.

8. Peukert D., Xu C., Dowd P. A Review of Sensor-Based Sorting in Mineral Processing: The Potential Benefits of Sensor Fusion // Minerals. -2022. -Vol.12 (11): 1364. DOI 10.3390/min12111364.

9. Owais A. Improving Sustainability and Efficiency in Ore Sorting with Sensors // AZoMining. -2023.

10. dos Santos E.G., de Brum I.A.S., Ambrós W.M. Sensor-based Sorting using De-XRT Sensor Applied to a Greenfield Copper Ore Project in Southern Brazil // IgMin Research a BioMed & Engineering. -2025. -Vol 3(4). - P.201-205. DOI 10.61927/igmin299.

11. Xiang J., Chen J., Zhang A., Zhao X., Zhuo S., Yang S. Multi-Objective Ore Blending Optimization for Polymetallic Open-Pit Mines Based on Improved Matter - Element Extension Model and NSGA-II // Mathematics. -2025. -Vol.13 (11):1843. DOI 10.3390/math13111843.

12. Luo J., Gu Q., Chen L., Li X., Li P. Multi-objective optimization for ore blending schemes in the open-pit phosphate mine using an improved NSGA-II algorithm // Green and Smart Mining Engineering. -2025. -Vol. 2 (1). -P.42-56. DOI 10.1016/j.gsme.2024.12.004.

13. Maniteja M., Samanta G., Gebretsadik A., Tsae N.B., Rai S.S., Fissha Y., Okada N., Kawamura Y. Advancing Iron Ore Grade Estimation: A Comparative Study of Machine Learning and Ordinary Kriging // Minerals. -2025. -Vol.15(2):131. DOI 10.3390/min15020131

14. Thiruchittampalam S., Banerjee B. P., Glenn N. F., Raval S. A systematic review of machine learning-based remote sensing data analysis for geological and mined materials characterization//European Journal of Remote Sensing. -2025. -Vol.58 (1): 2524622. DOI 10.1080/22797254.2025.2524622.

15. Marquina-Araujo J., Cotrina-Teatino M., Mamani-Quispe J., Noriega-Vidal E., Vega-Gonzales J., Cruz-Galvez J. Copper Ore Grade Prediction using Machine Learning Techniques in a Copper Deposit // Journal of Mining and Environment. -2024. -Vol.15 (3). -P.1011-1027. DOI 10.22044/jme.2024.14032.2617.

16. Prior Á., Jorg B. Mueller U. Resource and Grade Control Model Updating for Underground Mining Production Settings // Mathematical Geosciences. -2021. -Vol.53. P.757-779. DOI 10.1007/s11004-020-09881-2.

17. Пыталев И.А., Доможиров Д.В., Симаков Д.Б., Борисенко Е.В. Управление качеством минерального сырья путем обоснования технологии и параметров подготовки к выемке пород природных массивов при открытой геотехнологии // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. -2023. -№ 4. -С.472-483.

18. Кантемиров В.Д., Яковлев А.М., Титов Р.С., Тимохин А.В. Совершенствование методов рудоподготовки минерального сырья при освоении сложноструктурных месторождений // Горная Промышленность. -2022. -№1S. С.63-70. DOI 10.30686/1609-9192-2022-1S-63-70.

19. Мальцев Е. Н., Комплексная система управления качеством руды в условиях реального горнодобывающего предприятия // Золотодобыча для профессионалов: специалистов, руководителей, инвесторов. -2018. URL: https://zolotodb.ru/article/11888/.

20. Трубецкой К. Н., Захаров В. Н., Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В. Эффективные технологии использования техногенных георесурсов - основа экологической безопасности освоения недр // Горный журнал. -2016. -№ 5. - С.34-40. DOI 10.17580/gzh.2016.05.03.

21. Трубецкой К.Н. Развитие ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения месторождений полезных ископаемых // ИПКОН РАН. -2014. -196 с. ISBN 978-5-91177-082-2.

22. Каплунов Д.Р., Комплексное освоение недр - основное направление проектирования разработки рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). -2014, -№ 1. -С.347-357.

23. Федянин С. Н. О возможности разделения пород и руд месторождения Мурунтау рентгенорадиометрическим способом // Сборник научно-технических статей, Ташкент, Фан. - 1997. - С.135-

141.

24. Еремин А.М. Научное обоснование возможности предварительного обогащения золотосульфидных руд и разработка технологии рентгенорадиометрической сортировки (на примере месторождения Кокпатас): дис. канд. техн. наук: 25.00.22./ ВНИПИ промтехнологии, Москва. - 2010.138 с.

25. Рыльникова М. В., Швабенланд Е.Е. Особенности управления качеством рудной массы при разработке сложноструктурных месторождений апатитовых руд с применением комбайновой выемки // Рациональное освоение недр. - 2019. -№ 2(3). - С.80-86.

References

1. Rakishev B.R. Polnoe izvlechenie kondicionnyh rud iz slozhnostrukturnyh blokov za schet chastichnogo primeshivanija nekondicionnyh rud // Zapiski Gornogo instituta. - 2024. - T.270. - S. 919-930. ISSN 2411-3336, 2541-9404. [in Russian]

2. Rakishev B.R. Novye opredelenija estestvennogo i transformirovannogo mestorozhdenija poleznogo iskopaemogo i jetapy ih jekspluatacii // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten’. -2023. -№ 8. - S.165-177. DOI 10.25018/ 0236_1493_2023_8_0_165. [in Russian]

3. Frenzel M., Baumgartner R., Tolosana-Delgado R., Gutzmer J. Geometallurgy: Present and Future // Elements. -2023. -Vol.19 (6). -P. 345-351. DOI 10.2138/gselements.19.6.345.

4. Anvari K., Benndorf J., A Review of Developments Within the Last Decade // Mining. -2025. -Vol.5(3): 38. DOI 10.3390/mining5030038.

5. Potakey N. E., Ortiz J. M., A review of grade control methods in open cast mining // Predictive Geometallurgy and Geostatistics Lab, Queen’s University, Annual Report. -2022. -Vol.04. - P.59-70.

6. Rogiznyj V.F., Hromov V.M., Karpuhina M.V. Tehnologii selektivnoj vyemki malomoshhnyh rudnyh tel s primeneniem malogabaritnogo samohodnogo oborudovanija // Gornaja promyshlennost’. - 2020. - № 1. - S.34-41. ISSN 1609-9192, 2587-9138. [in Russian]

7. Zheljabovskij Ju.G. Sistema podzemnoj razrabotki s selektivnoj vyemkoj rudy // Zoloto i tehnologii. -2020. - №4 (46).- S.36-40. [in Russian]

8. Peukert D., Xu C., Dowd P. A Review of Sensor-Based Sorting in Mineral Processing: The Potential Benefits of Sensor Fusion // Minerals. -2022. -Vol.12 (11): 1364. DOI 10.3390/min12111364.

9. Owais A. Improving Sustainability and Efficiency in Ore Sorting with Sensors // AZoMining. -2023.

10. dos Santos E.G., de Brum I.A.S., Ambrós W.M. Sensor-based Sorting using De-XRT Sensor Applied to a Greenfield Copper Ore Project in Southern Brazil // IgMin Research a BioMed & Engineering. -2025. -Vol 3(4). - P.201-205. DOI 10.61927/igmin299.

11. Xiang J., Chen J., Zhang A., Zhao X., Zhuo S., Yang S. Multi-Objective Ore Blending Optimization for Polymetallic Open-Pit Mines Based on Improved Matter - Element Extension Model and NSGA-II // Mathematics. -2025. -Vol.13 (11):1843. DOI 10.3390/math13111843.

12. Luo J., Gu Q., Chen L., Li X., Li P. Multi-objective optimization for ore blending schemes in the open-pit phosphate mine using an improved NSGA-II algorithm // Green and Smart Mining Engineering. -2025. -Vol.2 (1). -P.42-56. DOI 10.1016/j.gsme.2024.12.004.

13. Maniteja M., Samanta G., Gebretsadik A., Tsae N.B., Rai S.S., Fissha Y., Okada N., Kawamura Y. Advancing Iron Ore Grade Estimation: A Comparative Study of Machine Learning and Ordinary Kriging // Minerals. -2025. -Vol.15(2):131. DOI 10.3390/min15020131

14. Thiruchittampalam S., Banerjee B. P., Glenn N. F., Raval S. A systematic review of machine learning-based remote sensing data analysis for geological and mined materials characterization//European Journal of Remote Sensing. -2025. -Vol.58 (1): 2524622. DOI 10.1080/22797254.2025.2524622.

15. Marquina-Araujo J., Cotrina-Teatino M., Mamani-Quispe J., Noriega-Vidal E., Vega-Gonzales J., Cruz-Galvez J. Copper Ore Grade Prediction using Machine Learning Techniques in a Copper Deposit // Journal of Mining and Environment. -2024. -Vol.15 (3). -P.1011-1027. DOI 10.22044/jme.2024.14032.2617.

16. Prior Á., Jorg B. Mueller U. Resource and Grade Control Model Updating for Underground Mining Production Settings //Mathematical Geosciences. -2021. -Vol.53. P.757-779. DOI 10.1007/s11004-020-09881-2.

17. Pytalev I.A., Domozhirov D.V., Simakov D.B., Borisenko E.V. Upravlenie kachestvom mineral’ nogo syr’ ja putem obosnovanija tehnologii i parametrov podgotovki k vyemke porod prirodnyh massivov pri otkrytoj geotehnologii // Izvestija Tul’ skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle. -2023. -№ 4. -S.472-483. [in Russian]

18. Kantemirov V.D., Jakovlev A.M., Titov R.S., Timohin A.V. Sovershenstvovanie metodov rudopodgotovki mineral’ nogo syr’ ja pri osvoenii slozhnostrukturnyh mestorozhdenij // Gornaja Promyshlennost’. -2022. -№1S. S.63-70. DOI 10.30686/1609-9192-2022-1S-63-70. [in Russian]

19. Mal’ cev E. N., Kompleksnaja sistema upravlenija kachestvom rudy v uslovijah real’ nogo gornodobyvajushhego predprijatija // Zolotodobycha dlja professionalov: specialistov, rukovoditelej, investorov. -2018. URL: https://zolotodb.ru/article/11888/.[in Russian]

20. Trubeckoj K. N., Zaharov V. N., Kaplunov D. R., Ryl’ nikova M. V. Jeffektivnye tehnologii ispol’ zovanija tehnogennyh georesursov - osnova jekologicheskoj bezopasnosti osvoenija nedr // Gornyj zhurnal. -2016. -№ 5. - S.34-40. DOI 10.17580/gzh.2016.05.03. [in Russian]

21. Trubeckoj K.N. Razvitie resursosberegajushhih i resursovosproizvodjashhih geotehnologij kompleksnogo osvoenija mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh // IPKON RAN. -2014. -196 c. ISBN 978-5-91177-082-2. [in Russian]

22. Kaplunov D.R., Kompleksnoe osvoenie nedr - osnovnoe napravlenie proektirovanija razrabotki rudnyh mestorozhdenij // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten’ (nauchno-tehnicheskij zhurnal). -2014, -№ 1. -S.347-357. [in Russian]

23. Fedjanin S. N. O vozmozhnosti razdelenija porod i rud mestorozhdenija Muruntau rentgenoradiometricheskim sposobom // Sbornik nauchno-tehnicheskih statej, Tashkent, Fan. - 1997. -S.135-141. [in Russian]

24. Eremin A.M. Nauchnoe obosnovanie vozmozhnosti predvaritel’ nogo obogashhenija zolotosul’ fidnyh rud i razrabotka tehnologii rentgenoradiometricheskoj sortirovki (na primere mestorozhdenija Kokpatas): dis. kand. tehn. nauk: 25.00.22./ VNIPI promtehnologii, Moskva. - 2010.138 c. [in Russian]

25. Ryl’ nikova M. V., Shvabenland E.E. Osobennosti upravlenija kachestvom rudnoj massy pri razrabotke slozhnostrukturnyh mestorozhdenij apatitovyh rud s primeneniem kombajnovoj vyemki // Racional’ noe osvoenie nedr. - 2019. -№ 2(3). - S.80-86. [in Russian]

Авторлар туралы мәліметтер

Ибырханов Т.С. - докторант, КеАҚ «Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті», Алматы, Қазақстан, e-mail: ibir.tem@mail.ru;

Ибырханова А.И. - докторант, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: i.altynay33@gmail.com;

Information about the authors

Ibyrkhanov T.S. - doctoral student, the NJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev», Almaty, Kazakhstan, e-mail: ibir.tem@mail.ru;

Ibyrkhanova A.I.- doctoral student, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: i.altynay33@gmail.com.

ҒТАМР 52.47.19 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1146**

МҰНАЙГАЗ КЕН ОРЫНДАРЫН ИГЕРУДІҢ ТИІМДІ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРІН ЗЕРТТЕУГЕ АНАЛИТИКАЛЫҚ ШОЛУ

Б.М. Нұранбаева, А.М. Жұматай

Caspian University, Алматы, Казахстан

Корреспондент-автор: bulbulmold@gmail.com

Мақалада мұнай-газ өнеркәсібінде цифрландыру шешімдерінің қарқынды және кеңінен қолданысқа иә болуына байланысты құрылымдық трансформация сатысында кен орындарын игерудің заманауи әдістеріне арналған ғылыми материалдарға аналитикалық шолу жүргізілді.

Зерттеу барысында «цифрлық кен орны» тұжырымдамасының негізгі элементтерін, өндірістік деректерді интеграцияланған басқару, өндірістегі үрдістерді автоматтандыру, сонымен қатар оны оңтайландыру рөлін, оның ішінде мұнай бергіштік коэффициентін арттыруға бағытталған технологиялық шешімдерді талданды. AVIST цифрлық платформасының функционалдық мүмкіндіктері және оның интеллектуалды жүйелерді, модельдеу құралдарын және деректерді өңдеу архитектурасын біріктіру маңыздылығы Қаракұдық кен орнында жүзеге асырылған пилоттық жобаның материалдары негізінде ашылып көрсетілді.

Мақалада жүргізілген шолу нәтижелерінің нәтижесіні көрсеткендей мұнай-газ саласындағы цифрландырудың өзекті бағыттарын айқындап, инновациялық технологияларды өнеркәсіптік деңгейде енгізу арқылы оның тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді. Алынған тұжырымдар жоғары қолданбалы мәнге ие және қазіргі өндірістік процестерді жаңғыртуға бағытталған тәжірибелік шешімдер үшін әдістемелік негіз бола алады.

Түйін сөздер: кен орын, игеру, цифрландыру, зерттеу, аналитикалық шолу.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ЭФФЕКТИВНЫХ ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

Б.М. Нуранбаева, А.М. Жұматай

Caspian University, Алматы, Казахстан,
e-mail: bulbulmold@gmail.com

В статье проведен аналитический обзор научных материалов, посвященных современным инновационным методам разработки месторождений на стадии структурной трансформации, в которые решения цифровизации связаны с интенсивным и широким применением в нефтегазовой отрасли.

Исследование направлено на анализ ключевых элементов концепции «цифрового месторождения», интегрированного управления производственными данными, роли автоматизации и оптимизации процессов, а также технологических решений, направленных на повышение коэффициента нефтеотдачи. Раскрыты функциональные возможности цифровой платформы AVIST и ее значение в интеграции интеллектуальных систем, средств моделирования и архитектуры обработки данных на основе материалов пилотного проекта, реализованного на месторождении Каракудык.

Результаты проведенного обзора позволяют оценить эффективность внедрения инновационных технологий на промышленном уровне с определением актуальных направлений цифровизации нефтегазовой отрасли. Полученные выводы имеют высокую прикладную ценность и могут служить методологической основой для практических решений, направленных на модернизацию современных производственных процессов.

Ключевые слова: месторождение, разработка, цифровизация, исследования, аналитический обзор.

ANALYTICAL REVIEW OF RESEARCH ON EFFECTIVE INNOVATIVE METHODS FOR DEVELOPING OIL AND GAS FIELDS

B. Nuranbaeva✉, A. Zhumatai

Caspian University, Алматы, Казахстан,
e-mail: bulbulmold@gmail.com

The article provides an analytical review of scientific materials devoted to modern innovative methods of field development at the stage of structural transformation, in which digitalization solutions are associated with intensive and widespread use in the oil and gas industry.

The article provides an analytical review of scientific materials devoted to modern innovative methods of oil and gas field development. The study focuses on analyzing the key elements of the “digital field” concept, integrated production data management, the role of automation and process optimization, as well as technological solutions aimed at increasing oil recovery rates. The functional capabilities of the AVIST digital platform and its importance in the integration of intelligent systems, simulation tools, and data processing architecture are revealed based on materials from a pilot project implemented at the Karakudyk field.

The results of the review allow us to assess the effectiveness of the implementation of innovative technologies at the industrial level and identify the current trends in the digitalization of the oil and gas industry. The conclusions drawn are of high practical value and can serve as a methodological basis for practical solutions aimed at modernizing contemporary production processes.

Keywords: field, development, digitalization, research, analytical review.

Кіріспе. Жыл сайын дәстүрлі мұнай қоры таусылып, оның сапасы нашарлайды. Бұл, ең алдымен, кен орындарының жоғары өндірілуіне және өндірілетін өнімнің жоғары сулануына байланысты. Бұл факт қазіргі өнеркәсіп үшін қиын алынатын қорларды дамытуға жаңа міндеттер қояды, оларды қолданыстағы өндіріс технологияларымен дамыту тиімсіз. Қазіргі уақытта тұтқырлығы жоғары және өте тұтқырлы мұнайды өндіруге көбірек көңіл бөлу өзекті мәселелердің бірі.

Дәстүрлі қорлардың сарқылуы. Жыл сайын көмірсутектердің күрделі, өткізгіштігі төмен және алынуы қиын қорлары игерілуде. Бұл мұнай мен газ өндіруді арттырудың жаңа тәсілдерін іздеуді талап етеді.

Тиімділік және оны арттыру. Дәстүрлі әдістер енді әрқашан табысты өндірісті қамтамасыз ете бермейді. Инновациялық технологиялар шығындарды оңтайландыруға, ұңғыма өнімділігін арттыруға және өндіріс шығындарын азайтуға мүмкіндік береді.

Цифрландыру мен автоматтандыру. Қазіргі мұнай-газ өнеркәсібі жинақталған ғылыми деректерді жан-жақты талдау мен жалпылауды қажет ететін цифрлық егіздерді, зияткерлік кен орындарының жүйелерін, заттар интернетін (IoT) және жасанды интеллектті белсенді түрде енгізуде.

Экологиялық мәселелер және тұрақты даму. Ең маңызды міндет - инновациялық және экологиялық таза технологиялардың көмегімен мүмкін болатын кен орындарын пайдалану кезінде қоршаған ортаға әсерді барынша азайту.

Әлемдік энергияның ауысуы. Таза энергияға жаһандық көшу жағдайында мұнай-газ саласы бәсекеге қабілеттілігін арттыру үшін көмірсутектерді өндіру және өңдеу технологияларын жетілдіру арқылы бейімделуі керек.

Зерттеудің мақсаты - мұнай-газ секторы қызметінің негізгі аспектілеріне, атап айтқанда, кен орындарын игеру және игеру саласындағы заманауи технологиялық шешімдердің әсерін талдау. Өнеркәсіптік тәжірибеде қолданылатын озық тәжірибелер мен олардың кең таралуына кедергі келтіретін кедергілер қарастырылады.

Көмірсутек ресурстары көптеген ондаған жылдар бойы жаһандық энергия балансының

негізгі элементі болып қала берді. Дегенмен, қазіргі заманғы мұнай-газ өнеркәсібі қол жетімді қорларды азайтуды, операциялық шығындарды арттыруды және қоршаған ортаны реттеу талаптарын күшейтуді қоса алғанда, бірқатар маңызды міндеттерді талап етеді [1]. Мұндай жағдайларда қоршаған ортаға әсерді азайта отырып, көмірсутектерді барлау және өндіру процестерінің тиімділігін арттыруға бағытталған инновациялық технологияларды енгізудің маңыздылығы артады [2].

Авторлардың пікірі [3] саланың тұрақты және бәсекеге қабілетті дамуын қамтамасыз етудегі цифрландыру, автоматтандыру және интеллектуалды жүйелердің рөлін атап көрсетеді.

Инновациялық технологиялық шешімдерді пайдалану өндіріс шығындарын айтарлықтай азайтуға және экологиялық тәуекелдерді азайтуға көмектеседі. Осылайша, нақты уақыт режимінде деректерді өңдеу арқылы сенсорлық бақылау жүйелері мен аналитикалық жүйелерді енгізу жабдықтың жұмыс параметрлерін жылдам бақылауға, төтенше жағдайлардың алдын алуға және технологиялық процестерді оңтайландыруға мүмкіндік береді [4].

Жұмыста [5] авторлар автоматтандырылған жүйелер мен роботтық қондырғыларды пайдалану, әсіресе шалғай немесе экстремалды нысандарда, соның ішінде теңіз платформаларында жұмыс қауіпсіздігін арттырады.

Өнеркәсіптің дамуындағы заманауи тенденциялар көмірсутектердің дәстүрлі көздерінен дәстүрлі емес көздеріне көшуді болжайды. Маңызды назар аударатын нысандардың бірі - ауыр мұнай, ол барланған әлемдік қорлардың шамамен 70% құрайды [6]. Дегенмен, оны алу техникалық күрделіліктің жоғарылауымен байланысты. Қазіргі уақытта буды ынталандыру технологиялары кеңінен қолданылады, олардың тиімділігі 30% -дан аспайды, ал мұнайдың айтарлықтай көлемі жер қойнауында қалады. Осыған байланысты тиімділігі 55% жетуі мүмкін ауаны айдау [7] сияқты балама әдістерге қызығушылық артып келеді.

Мұнай қабаттарына ауа айдау - бу стимуляциясынан бірқатар артықшылықтарға ие перспективалы және экологиялық таза технология. Ол мұнай өндіру құнын төмендетуге көмектеседі, су мен табиғи газды тұтынуды азайтады және көміртегі ізін азайтады. Мысалы, Шыңжаң кен орнында ауаны айдау құны буды пайдаланатын ұқсас операциялар құнының шамамен 60% құрайды. Бұл технология жобалардың экономикалық табыстылығын арттыруға, энергетикалық қауіпсіздікті нығайтуға және көмірсутегі ресурстарын дамытуда төмен көміртекті шешімдерді ілгерілетуге көмектеседі. Дегенмен, мұндай жобаларды жүзеге асыру өндірісті басқаруға кешенді көзқарасты және геологиялық, техникалық және экологиялық параметрлерді қатаң ескеруді талап етеді. Тәжірибе [8] көрсеткендей, мұндай бастамалардың табыстылығы 20%-дан аспайды, бұл көптеген факторларға, соның ішінде процестердің күрделілігіне, тәжірибелік базаның болмауына және деректердің толық болмауына байланысты.

Мұнайдың [9] ауыр фракцияларының тотығуымен бірге жүретін термохимиялық процестерді зерттеу үш температуралық режимді анықтауға мүмкіндік береді - төмен, орташа және жоғары. Кокстың жоғары температурада жағуға назар аударылғанымен, төмен және орташа температурадағы тотығу процестері әлі де аз зерттелген. Мұндай реакциялар кезінде пайда болатын жылу әсерлерін және олардың қабаттағы температураны жоғарылату әлеуетін зерттеу әсіресе өзекті болып көрінеді.

Материалдар мен әдістер. Тұтқырлығы жоғары мұнайдың тотығу үрдісі жүретін температура диапазоны үш негізгі кезеңді ажыратуға мүмкіндік береді: төмен, орташа және жоғары температура тотығуы. Отандық және шетелдік зерттеушілер жүргізген жұмыстардың көпшілігі жоғары температурада болатын процестерге, негізінен алынған кокстың жағуға байланысты. Сонымен қатар, негізінен сапалық сипатта болатын төмен және орташа температура жағдайында шикі мұнай компоненттерінің тотығу реакцияларына қатысты зерттеулер оттегі шығынын және тотығу өнімдерінің құрамын зерттеумен шектеледі. Сонымен қатар, зерттеулер мен әде-

биеттерде төмен және орташа температуралық тотығудың жылулық сипаттамаларын объективті бағалауға мүмкіндік беретін жүйелі эксперименттік деректер жетіспейді. Бұл осы жағдайларда бөлінетін энергия өнімді қабатқа термиялық әсер ету үшін жеткілікті болуы мүмкін бе деген белгісіздікке әкеледі. Сонымен қатар, геологиялық және стратиграфиялық факторлардың (қабат қысымы, қабат суының болуы, кеуектілік, сазды минералдардың мөлшері және т.б.) термиялық тотығу процестеріне және ауыр мұнайдың тотығу кезіндегі жылу бөліну дәрежесіне әсері туралы мәселе ашық күйінде қалып отыр.

Осыған байланысты [3] қабат жағдайларының (қысым, қанықтылық, кеуектілік және тау жыныстарының құрамы) термиялық тотығу әдістерінің тиімділігіне әсері маңызды болып қала береді. Жылдам технологиялық трансформация жағдайында мұнай-газ саласы прогрессивті шешімдерді үнемі бақылауды және енгізуді талап етеді. Жаңа тенденцияларды терең түсіну және өзгермелі энергия нарығына бейімделу ғана тұрақты даму стратегияларын қалыптастыруға мүмкіндік береді.

«Ақылды» кен орындарының [4] тұжырымдамаларын құру үшін цифрлық модельдерді пайдалану ерекше маңызға ие. Математикалық модельдеу өндірістік процестердің әртүрлі элементтерін бір жүйеге біріктіреді, бұл технологиялық тізбектерді тереңірек талдауға ғана емес, сонымен қатар басқару шешімдерін жылдам қабылдауға мүмкіндік береді. Қазіргі жағдайда деректерді талдау, процестерді визуализациялау және жүйенің мінез-құлқын болжау тиімді кен орындарын басқарудың ажырамас құрамдас бөліктеріне айналуда.

Schlumberger, Roxar және Petroleum Experts ұсынатын бағдарламалық жүйелер бұрғылауды жоспарлау мен жабдықты таңдаудан бастап өндіру мен ұңғымаларды жоюды оңтайландыруға дейінгі кен орнын [5] игерудің өмірлік циклінің барлық кезеңдерін қамтиды. Олар өндіріс параметрлерін үздіксіз бақылауға, қабат қысымын басқаруға және техникалық қызмет көрсетуді уақтылы жоспарлауға мүмкіндік береді, осылайша операциялық және ұзақ мерзімді тиімділікті қамтамасыз етеді.

BP жобаларындағы өндірістің 2-3%-ға артуы және Shell-дегі 5 миллиард долларлық экономикалық тиімділік сияқты практикалық мысалдар мұнай мен газды цифрландырудың тиімділігін көрсетеді. Дегенмен, үлкен көлемдегі деректерді талдау және түсіндіру, үлгілерді үнемі жаңарту және нәтижелердің сенімділігін қамтамасыз ету тек техникалық шешімдерді ғана емес, сонымен қатар ұйымдастырушылық күш-жігерді де қажет етеді. Кәдімгі операцияларды автоматтандыру терең талдау үшін ресурстарды босатады, бұл өз кезегінде стратегиялық негізделген басқару шешімдеріне ықпал етеді.

Нәтижелер және талқылау. Еліміздегі мұнай-газ саласының дамуына қазіргі кезеңіне стратегиялық даму бағыттарын айқындайтын инновациялық және цифрлық технологиялардың елеулі әсерімен сипатталады. Технологиялық прогресті интенсификациялау жағдайында инновациялық тенденцияларды үнемі бақылау, оларды аналитикалық түсіндіру және басқару шешімдеріне айналдыру негізгі міндеттерге айналады. Бұл процестерді [10,11] жүйелі қабылдау ресурс тиімділігін, экологиялық тұрақтылықты арттыру және энергия нарығының өзгеретін талаптарына бейімделу үшін қажет.

Саланы цифрландырудың маңызды бағыттарының бірі мұнай-газ орындарын кешенді модельдеуді дамыту болып табылады. Бұл тәсіл геологиялық, геофизикалық, гидродинамикалық және өндірістік үлгілерді қабаттар мен ұңғымалардың әрекетін кешенді бағалауға және болжауға мүмкіндік беретін бір цифрлық жүйеге біріктіруді қамтамасыз етеді. Бұл тәсілді [12, 13] жүзеге асыру ауыстыру өмірлік циклінің барлық кезеңдерінде - жобалаудан бастап жабуға дейін негізделген операциялық және стратегиялық шешімдер қабылдауға ықпал етеді.

Іс жүзінде жетекші халықаралық компаниялар интеграцияланған модельдер мен цифрлық қосарлану негізіне белсенді түрде Petrel, Roxar RMS және IPM Suite сияқты бағдарламалық жүйелер көп параметрлі оңтайландыруға, есептеулерді автоматтандыруға және күрделі процестерді визуализациялауға мүмкіндік береді

және кен орындарға енгізуге, сонымен қатар бұл оның өнімділікті арттыруға, шығындарды азайтуға және инвестицияның қайтарымдылығын жақсартуға көмектесетіндігін атап көрсетеді.

Атап айтқанда, BP жүзеге асырған цифрлық трансформация цифрлық қосарлануға негізделген икемді басқару жүйесін енгізу есебінен күнделікті өндірістің 2-3%-ға артуына әкелді. Аталған модельдеу платформаларының тиімділігі нақты жағдайлармен расталады. Авторлардың [7, 14] Shell өзінің цифрлық кен орнының архитектурасын енгізгеннен кейін кірістің 5 миллиард АҚШ долларына өскенін атап өтті. Мұндай нәтижелер цифрлық инвестициялардың экономикалық орындылығын және интеграцияланған шешімдердің өзектілігін көрсетеді. Әлемдегі жетекші мұнай-газ өндіруші компаниялар интеграцияланған модельдеу әдістерін тәжірибеде белсенді қолдана бастады және мұндай тәсілдің жоғары тиімділігін ескере отырып, жарияланған есептері бойынша «цифрлық кен орны» бағдарламасын енгізу мұнай өндірудің тәуліктік көлемін 2-3 % арттырған. Осындай құралдарды Shell компаниясы да қолданған, нәтижесінде шамамен 5 млрд доллар қосымша табыс алған. Бірақ та интеграцияланған модельдеуді іс жүзінде жүзеге асыру бірқатар қиындықтарды тудырады. Негізгі мәселелердің бірі деректердің үлкен көлемін түсіндірудің күрделілігі және өндіріс көрсеткіштерінің динамикасына байланысты үлгілерді үнемі жаңарту қажеттілігі туындайды. Бұл қиындықтарды жою үшін [15,16] адам факторын барынша азайтатын және болжамның дәлдігін арттыратын деректерді жинау, алдын ала өңдеу және тексерудің автоматтандырылған жүйелерін енгізу орынды.

Перспективалы бағыттардың бірі сыни параметрлерді жылдам талдауға, ауытқуларды анықтауға және адаптивті басқару сценарийлерін ұсынуға қабілетті интеллектуалды шешімдерді қолдау жүйелерін дамыту болып табылады. Мұндай жүйелерді модельдеумен [11, 13] біріктіру баламалы стратегияларды бағалауға мүмкіндіктер ашады (сценарийлік талдау), бұл өндірістің тұрақтылығын арттыру және тәуекелдерді азайту үшін өте маңызды.

2012-2014 жылы пилоттық жоба аясында Қарақұдық кен орнында AVIST пайдалану айтарлықтай экономикалық нәтиже берді [17].3,7 миллион доллар инвестиция арқылы шамамен 17 миллион доллар болжамды пайда алынды, бұл мұнай өндіруді басқарудағы цифрлық технологиялардың жоғары табыстылығын растайды.

Аймақтық тәжірибеде цифрлық шешімдерді интеграциялаудың мысалы ретінде ЛУКОЙЛ Оверсиз үшін ITPS компаниялар тобы әзірлеген Қазақстандағы Қарақұдық кен орнында AVIST платформасын енгізуді келтіруге болады. Бұл жүйе нақты уақыт режимінде телеметриялық ақпаратты жинауды, оны [15] цифрлық модельге түрлендіруді және бір басқару порталының интерфейсі арқылы кейінгі визуализацияны қамтамасыз етеді.

Бұл мәселені шешудің тиімді жолы - жылдам әрекет ететін жүйесі құру. Мұндай жүйенің негізгі функционалдығы кен орнының жайкүйін және оны игеру үрдістерін сипаттайтын негізгі көрсеткіштерді бақылауды, сондай-ақ ықтимал мәселелер туралы проактивті (алдын ала) сигналдарды беруді қамтамасыз етеді. Соның ішінде «ЛУКОЙЛ Оверсиз» болып табылатын Қазақстандағы «Қарақұдық» кен орнында «Parma-Telecom» (ITPS Group) жеке әзірленген AVIST платформасы қолданылады. Бұл платформаның көмегімен өндірістік жүйелерден телеме-триа деректерін жылдам жүктеу үшін автоматтандырылған интерфейстер жасауға мүмкіндік берді, интеграцияланған модель және оның жеке құрамдас бөліктері бойынша есептеулердің нәтижелік таттарының визуализациясы және оларды бір басқару порталында жариялау конфигурацияланды.

AVIST интеграциялық платформасы арқылы кен орнынды цифрлық модельдеу және басқаруға мүмкіндік береді: бұл жүйенің негізгі мақсаты - мұнай өндірудің тиімділігін арттырып, технологиялық үдерістерді оңтайландыру және нақты уақыт режимінде шешім қабылдау.

AVIST платформасы арқылы цифрлық кен орны архитектурасында келесі стратегиялық рөл-

дерді атқарады:

1. *Деректерді бірыңғай орталықта біріктіру.* Кен орнындағы геологиялық, гидродинамикалық, технологиялық және өндірістік мәліметтер платформаның бірыңғай базасында жинақталады, бұл ақпараттық оқшаулықты жояды.

2. *Өндірісті басқарудың интеграцияланған контуры*. Платформа ұңғылардың, сорғы-жабдықтардың, мұнай жинау жүйелерінің жұмысын бақылау және басқару процестерін автоматтандырады.

3. *Операциялық тиімділікті арттыру*. Жасанды интеллект элементтері мен аналитикалық алгоритмдер мұнай бергіштің коэффициентін арттыруға, су-мұнай қатынасын (WOR) төмендетуге, жоспарсыз тоқтаулар санын азайтуға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар. AVIST негізіндегі аналитика ұңғы қорының жұмысын болжауға, өндіру жоспарын түзетуге және мұнай бергіштікіті арттырудың (EOR) әдістерін оңтайландыру кезінде таңдауға мүмкіндік береді.

Еліміздегі мұнайгаз саласының ерекшеліктеріне байланысты, AVIST платформасының бірнеше артықшылықтары айқындауға болады: сулануы жоғары ұңғыларды тиімді басқару; ұңғы жұмысының күрделі режимдерін модельдеу; тепе-теңдік және динамикалық модельдер негізіндегі мұнай бергіштік әдістерінің тиімділігін болжау; өндірістік тәуекелдерді алдын ала анықтау; жоғары деректер көлемімен (Big Data) жұмыс істеу қабілеті. Бұл платформа сондай-ақ қазақстандық мұнай кәсіпорындарының цифрлық трансформация стратегияларымен үйлесімді, бірнеше кен орындарында пилоттық және өнеркәсіптік деңгейде қолданылып жүр (1-кесте).

Кесте 1 - Қолданылатын цифрлық платформалар

Платформа	Қызметтері	Шектеулері
AVIST (ҚР жобаларында кең таралған)	Кен орнын моделдеу, өндірісті оңтайландыру, ұңғыны нақты уақыт режимінде бақылау	Деректердің сапасына тәуелді; кейбір күрделі EOR сценарийлері шектелген
Schlumberger Delfi / Petrel	Геомодельдеу, динамикалық симуляция, EOR сценарийлерін болжау	Лицензия құны жоғары; мамандарды оқыту қажет
Honeywell, Aspen HYSYS	Қондырғыларды симуляциялау, үрдістерді цифрландыру	Кен орын емес, технологиялық процестерге бағытталған
Cognite Data Fusion	Үлкен деректерді интеграциялау, IoT, цифрлық қосарлану (Digital Twin)	Толық енгізу үшін инфрақұрылым қажет
Oniq / Sensorless жүйелері	Жабдықтарды болжау диагностикасы, жөндеу интервалын оңтайландыру	Ұңғымалық деңгейдегі модельдеу шектелуі мүмкін

AVIST интеллектуалды платформасы өндіріс деректерінің дәстүрлі интеграциясынан тыс әлеуетті көрсетеді. Оның негізгі функционалдығы мұнай өндіруші активтерді белсенді басқару тұжырымдамасын жүзеге асыруды қолдайтын болжамды аналитика мен сценарийлік модельдеуді қамтиды. Бұл өз кезегінде жабдықтың тоқтап қалуын азайтуға, пайдалану тиімділігін арттыруға және саладағы экологиялық мақсаттарға қол жеткізуге көмектеседі. Жүйемен қамтамасыз етілген [11-13] өндірістік процестерді жан-жақты шолу энергия саласындағы цифрлық трансформацияның маңыздылығын атап көрсете отырып, негізделген басқару шешімдерін қабылдауға мүмкіндік береді (2-кесте).

Атап айтқанда, «LUKOIL Oversiz» компаниясында AVIST енгізу ұңғымалардың жағдайын нақты уақыт режимінде бақылауға мүмкіндік

берді. Бұл триггерлердің жұмысын, қабат қысымының өзгеруін және жұмыс режимдерінің ауысуын қоса алғанда, өзара тәуелді параметрлерді ескеретін статикалық модельдерден динамикалық модельдеуге көшуді бастады. Жетілдірілген аналитика әртүрлі жұмыс сценарийлері үшін негізгі параметрлерді есептеуге, инфрақұрылымдағы «кедергілерді анықтауға және өнімді тасымалдау және дайындау процестерін оңтайландыруға мүмкіндік берді. Платформа сонымен қатар [14-18] өндірісті интенсификациялау және өндіріс көлемін қысқа мерзімді болжау үшін оңтайлы шешімдерді таңдау үшін қолданылады.

2-кесте. Цифрлық платформалардың қызметтері мен шектеулері

Платформа	Мүмкіндіктері	Шектеулері
CMG (IMEX, GEM, STARS)	Химиялық, жылулық, газ EOR симуляциясы; көпфазалы ағынның нақты моделі	Құны жоғары; қуатты серверді талап етеді
Eclipse/ INTERSECT	Резервуарлық модельдеу, CO_2 EOR, көпкомпонентті модель	Пайдалану күрделі; оқытуды қажет етеді
Petrel	Геомодельдеу, ұңғы траекториясы, интеграция	Real-time мониторинг шектеулі
AVIST (ITPS Group)	Операциялық тиімділікті бақылау, өндірісті оңтайландыру	Күрделі EOR симуляциясына арналмаған
Kappa (Saphir, Topaze)	Ұңғыманы талдау, қысым қайта түсуі, well-test	Резервуардың толық модельдерін жасамайды

«Теңізшевройл» (ТШО) компаниясы жасанды интеллектті өндірістік процестерге біріктіруді көздейтін цифрлық трансформация стратегиясын жүзеге асыруда. Бұл [19] бағыт Солтүстік Каспий «Oil and Gas Atyra» 21-ші көрмесі аясында ұсынылды, онда цифрлық шешімдер тиімділікті арттыруға ғана емес, сонымен қатар персоналдың қауіпсіздігін арттыруға және экологиялық тәуекелдерді барынша азайтуға арналғаны баса айтылды.

Бұл стратегия цифрлық мәдениетті дамытуға және қызметкерлерді оқытуға ерекше көңіл бөледі. Цифрландыру бұрғылау мен өндіруден бастап көмірсутектерді өңдеу мен экспорттауға дейінгі бүкіл өндірістік [20-23] циклді қамтиды, яғни басымдықтардың қатарында жабдыққа болжамды техникалық қызмет көрсету, цифрлық қосарлану және автоматтандырылған басқару жүйелері бар.

2020 жылдан бастап ТШО интеллектуалды өндіріс жүйелерін, ұшқышсыз платформаларды және толықтырылған сандық технологияларын белсенді түрде енгізуде. Бұл [24-25] шешімдер операциялық тұрақтылықты арттыруға бағытталған «Future Rescent» және «Supply Design Management жобаларында қолданылады.

Негізгі жетістіктердің бірі Теңіз кен орнында 2023 жылы аяқталған технологиялық кешеннің цифрлық қосарлану құру болды. Бұл құрал шығындарды азайтуды, табыстылықты арттыруды және қоршаған ортаға әсерді азайтуды қамтамасыз ете отырып, сценарийлерді талдауға және процестерді оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Су ресурстарын басқару саласында да инновациялар енгізілді: су өлшегіш көрсеткіштерін оқуға арналған автоматтандырылған жүйелер деректерді қолмен жинаудан бас тартуға, операциялардың дәлдігі мен қауіпсіздігін арттыруға мүмкіндік берді. Сонымен қатар, жұмысқа рұқсат берудің (ePTW) электронды жүйесіне көшу ішкі процестерді жеделдетіп, операциялардың ашықтығын арттыруға мүмкіндік берді. Жаңа

жүйенің тиімділігінің мысалы ретінде КТЛ-5 технологиялық желісін күрделі жөндеу болды, оның барысында 33 мыңнан астам электронды рұқсаттар берілді [26].

Авторларда [23-26] машиналық оқыту және үлкен деректерді талдау әдістерін қолдану ТШО-ға нарықтық және технологиялық жағдайлардың өзгеруіне бейімделудің дәлірек стратегияларын әзірлеуге, шығындарды азайтуға және өндірістік қызметтің тиімділігін арттыруға мүмкіндік берді.

Осылайша, интеграцияланған цифрлық шешімдерді қолдану тек ағымдағы үрдіс қана емес, сонымен қатар жаһандық трансформациялар жағдайында мұнай-газ саласының тұрақтылығын қамтамасыз етудің маңызды элементі, сондай-ақ заманауи технологияларды енгізу арқылы мұнай-газ саласын жаңғырту тұрақты дамудың негізгі бағыты болып табылады, шектеулі ресурстар, экологиялық тәуекелдер және өсіп келе жатқан тиімділік талаптары жағдайында өзекті мәселелерді шешуге ықпал етеді.

Қорытынды. Мұнай-газ салаасындағы өндірістік процестерді цифрландыру саласындағы заманауи жетістіктер кен орындарын пайдалану тәсілдерінде сапалы өзгерістерге әкелді. Заттар интернеті (IoT) технологиялары, интеграцияланған модельдеу және жасанды интеллект алгоритмдері арқылы жұмыс істейтін «интеллектуалды» деп аталатын кен орындарының қалыптасуы саладағы елеулі трансформациялық өзгерістерді көрсетеді. Бұл шешімдер операциялық тиімділікті арттырып қана қоймайды, сонымен қатар шығындарды азайтуға, өнеркәсіптік қауіпсіздік көрсеткіштерін жақсартуға және технологиялық және экологиялық тәуекелдерді азайтуға көмектеседі.

Қарақұдық кен орындарында цифрлық платформалар мен интеллектуалды жүйелерді енгізу мысалында қол жеткізілген оң нәтижелер мұндай бастамалардың жоғары практикалық маңыздылығын растайды. Өндірістік процестерді оңтайландыру, жабдықтың сенімділігін арттыру және тоқтап қалуды азайту арқылы экономикалық қайтарымды және өндірістік қызметтің тұрақтылығын арттыруға, экологиялық мәселелерді шешуге болады.

Жүргізілген зерттеулерге талдау бойынша еліміздегі кен орындарының мұнай бергіштікті арттыру (EOR) технологияларын таңдауды оңтайландыру үшін бірқатар негізгі нәтижелерді айқындауға мүмкіндік болады және негізгі параметрлер бойынша талданған, зерттелген статистикаға сүйеніп жасалынды, осының нәтижесінде операторларға нақты кен орнына EOR әдісін дәл таңдауға мүмкіндік береді. AVIST платформасы еліміздегі кейбір кен орындарында қолданылады, нәтижесінде операциялық тиімділікті бақылауда жақсы, алайда күрделі EOR симуляцияларын орындау үшін қосымша модульдер қажет етеді.

Жаһандық энергетика саласының жұмыс істеуінің жылдам өзгеретін жағдайларын ескере отырып, бизнес-процестердің цифрлық трансформациясы стратегиялық басымдық мәртебесіне ие болуда. Цифрлық шешімдерді біріктіру компанияларға өзгермелі нарық талаптарына икемді бейімделуге мүмкіндік береді, тұрақтылықты, технологияны және қоршаған ортаны қорғауды жан-жақты жақсартуды қамтамасыз етеді. Мұндай инновациялық тәсілдерді енгізуді жалғастыру мұнай-газ саласының орта және ұзақ мерзімді перспективада даму векторын айқындайтыны сөзсіз, оны жаңғырту мен экологиялық бейімделуге ықпал етеді. Жаңа технологиялардың бірегей интеграциясы және мұнай-газ инжинирингін цифрландыру саласында ұзақ мерзімді перспективада негізділігін арттыру және болашақтың цифрлық экономикасын арттыру үшін цифрлық технологиялардың болашағы бар.

Әдебиеттер

1. Boukelia T.E., Bouraoui A., Laouafi A., Djimli S., Kabar Y.3E (Energy-Exergy-Economic) comparative study of integrating wet and dry cooling systems in solar tower power plants // Energy. -2020. -Vol. 200: 117567. DOI 10.1016/j.energy.2020.117567.

2. Khalili Y., Ahmadi M. Reservoir Modeling & Simulation: Advancements, Challenges, and Future Perspectives // Journal of Chemical and Petroleum Engineering (JChPE). -2023. - Vol.57(2). - P.343-364. DOI 10.22059/jchpe.2023.363392.1447.

3. Кондратьев А.А. Цифровая трансформация в нефтегазовой сфере // Международный научный журнал «Вестник науки». -2023. -№11(68). -Т.2. -С.804-821.

4. Campbell-Phillips Sh. A Critical Assessment of Digital Oilfield Implementations in the Middle-East // International Journal of Recent Engineering Science. -2020. - Vol.7(3). - P.71-84. DOI 10.14445/23497157/IJRES-V7I3P114.

5. Moore G., Mehta R., Ursenbach M., Ursenbach M. Air injection for oil recovery // Journal of Canadian Petroleum Technology. - 2002. - Vol. 41(8) - P.16-19.

6. Ник Л. Блокчейн в нефтегазовой отрасли России: неизбежен/Нефтянка. -2017. URL: http://neftianka.ru/blokchejn-v-neftegazovoj-otrasli-rossii-neizbezhen/. -Қаралған күні: 26.08.2025.

7. Сулоева С.Б., Мартынатов В.С. Особенности цифровой трансформации предприятий нефтегазового комплекса // Организатор производства. - 2019. - Т.27. № 2. - С.27-38. DOI 10.25987/VSTU.2019.26.70.003.

8. Liu X., Wang Y., Zhang J. AI-Generated Content in Digital Marketing: Opportunities and Challenges//Journal of Marketing. -2023. -Vol.87. -P.30-48.

9. Петров А.А. Сериков И.Д. Краткий обзор мирового опыта применения теплового метода увеличения нефтеотдачи // Евразийский научный журнал. - С.278-279.

10. Shuai Zh., Wanfen P., Mikhail A.V. Thermal behavior and kinetics of heavy crude oil during combustion by high pressure differential scanning calorimetry and accelerating rate calorimetry // Journal of Petroleum Science and Engineering. -2019. -Vol.181(1): 106225. DOI 10.1016/j.petrol.2019.106225.

11. Айдарбаев А. Как «КазМунайГаз» совершает свою четвёртую промышленную революцию // Forbes Kazakhstan. -2021. -С.22–28. URL: https://forbes.kz/articles/kak_kmg_provodit_svoyu_chetvertuyu_promyishlennuyu_revolyutsiyu. -Қаралған күні: 26.08.2025.

12. Mahdieh Z. Data Analysis and Management in the Oil & Gas Industry//Inernational conference of new technologies in oil, gas and petrochemical engineering in Iran. -2024. DOI 10.13140/RG.2.2.28184.92165.

13. Schlumberger, Chevron и Microsoft объединятся для цифровизации нефтяной отрасли/ТАСС. -2019. URL: https://tass.ru/ekonomika/6900650. -Қаралған күні: 26.08.2025.

14. Фастович В.В. Влияние искусственного интеллекта на повышение эффективности управления в нефтегазовой отрасли // Финансы и управление. -2025. -№ 2. -С.157-173. DOI 10.25136/2409-7802.2025.2.74575.

15. Федосимов С. Универсальная платформа AVIST – эффективное решение для нефтегазодобывающих предприятий/ITPS. -2015. URL: https://itps.com/press/article/universalnaya_platforma_avist_effektivnoe_reshenie_dlya_neftegazodobyvayushchikh_predpriyatiy/?utm_source=chatgpt.com. -Қаралған күні: 29.01.2015.

16. Anshu S., Gurdeep S.R., Diem H.B., Parvinder P.S. Aging Midstream Supply Chain in the Oil and Gas Industry: Issues and AI-Based Solutions // Journal of Energy and Development. -2024. -Vol.49(2). DOI 10.56476/jed.v49i2.25.

17. Karakudukmunay hits one record after another: article in Oil&Gas of Kazakhstan magazine/ITPS. -2014. URL: https://itps.com/en/press/publications/2014_08_20-karakudukmunay_hits_one_record_after_another/. -Қаралған күні: 26.08.2025.

18. Akpe T.A., Shuaibu I.N., Bolarinwa S., Henry O.I. Balancing plant safety and efficiency through innovative engineering practices in oil and gas operations // Global Journal of Advanced Research and Reviews. - 2024. -Vol.2(1). - P.023–046. DOI 10.58175/gjarr.2024.2.1.0029.

19. В Тенгизшевройл рассказали, как используется искусственный интеллект. URL:https://www.tengizchevroil.com/ru/operations/2024/04/06/how-artificial-intelligence-is-used-in-tengizchevroil. -Қаралған күні: 26.08.2025.

20. Mechergui A., Onumaegbu I., Ekpenyong D. Optimizing gas fields using integrated asset modeling: OML58 Upgrade case study // SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition. - 2017: SPE-189071-MS. DOI 10.2118/189071-MS.

21. Красеньков С.В. Развитие цифровых технологий в нефтегазодобывающей отрасли / Специальные системы и технологии. URL: https://sst.ru/press/expert-articles/the-development-of-digital-technology-in-the-oil-and-gas-industry/. -Қаралған күні: 26.08.2025.

22. Азиева Р.Х. Мониторинг результатов цифровой трансформации в нефтегазовой отрасли // Естественно-гуманитарные исследования. - 2022. - № 40(2). - С. 21-29.

23. Как «КазМунайГаз» совершает свою четвёртую промышленную революцию. -2021. URL: https://sknews.kz/news/view/forbes.kz-kazmunaygaz-voshel-v-epohu-chetvertoy-promyshlennoy-revolyucii. -Қаралған күні: 26.08.2025.

24. Шахназарян А. Возраст «цифре» не помеха: старейшее месторождение «ЭмбаМунайГаз» переходит на новые технологии/Ulys Media. -2023. URL: https://ulysmedia.kz. -Қаралған күні: 26.08.2025.

25. Презентация проекта «Интеллектуальное месторождение»/КазГерМунай. -2018. URL: https://kgm.kz/ru/news/prezentaciya-proekta-intellektualnoe-mestorozhdenie. -Қаралған күні: 26.08.2025.

26. Халбашкеев А. Месторождения Казахстана уходят в «цифру» // Добывающая промышленность: Центральная Азия. -2023. URL: https://dprom.kz/trendy/myestorozhdyeneya-kazahstana-uhodyat-v-tsefru/. -Қаралған күні: 26.08.2025.

References

1. Boukelia T.E., Bouraoui A., Laouafi A., Djimli S., Kabar Y.3E (Energy-Exergy-Economic) comparative study of integrating wet and dry cooling systems in solar tower power plants // Energy. -2020. -Vol. 200: 117567. DOI 10.1016/j.energy.2020.117567.

2. Khalili Y., Ahmadi M. Reservoir Modeling & Simulation: Advancements, Challenges, and Future Perspectives // Journal of Chemical and Petroleum Engineering (JChPE). -2023. - Vol.57(2). - P.343-364. DOI 10.22059/jchpe.2023.363392.1447.

3. Kondrat’ ev A.A. Tsifrovaya transformatsiya v neftegazovoi sfere // Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal «Vestnik nauki» - 2023. - №11(68). -T.2. -S.804-821. [in Russian]

4. Campbell-Phillips Sh. A Critical Assessment of Digital Oilfield Implementations in the Middle-East // International Journal of Recent Engineering Science. -2020. - Vol.7(3). - P.71-84. DOI 10.14445/23497157/IJRES-V7I3P114.

5. Moore G., Mehta R., Ursenbach M., Ursenbach M. Air injection for oil recovery // Journal of Canadian Petroleum Technology. - 2002. - Vol. 41(8) - P.16-19.

6. Nik. L. Blokchein v neftegazovoi otrasli Rossii: neizbezhen/Neftyanka. -2017. URL: http://neftianka.ru/blokchejn-v-neftegazovoj-otrasli-rossii-neizbezhen/. -Date of access: 21.09.2023. [in Russian]

7. Suloeva S.B. Martynatov V.S. Osobennosti tsifrovoi transformatsii predpriyatii neftegazovogo kompleksa //Organizator proizvodstva. - 2019. -T.27.- № 2.-S.27-38. DOI 10.25987/VSTU.2019.26.70.003. [in Russian]

8. Liu X., Wang Y., Zhang J. AI-Generated Content in Digital Marketing: Opportunities and Challenges//Journal of Marketing. -2023. -Vol.87. -P.30-48.

9. Петров А.А. Сериков И.Д. Краткий обзор мирового опыта применения теплового метода увеличения нефтеотдачи // Евразийский научный журнал. - С.278-279.

10. Shuai Zh., Wanfen P., Mikhail A.V. Thermal behavior and kinetics of heavy crude oil during combustion by high pressure differential scanning calorimetry and accelerating rate calorimetry // Journal of Petroleum Science and Engineering. -2019. -Vol.181(1): 106225. DOI 10.1016/j.petrol.2019.106225.

11. Aidarbayev A. Kak «KazMunaiGaz» sovershaet svoyu chetvertuyu promyshlennuyu revolyutsiyu (data obrashcheniya 29.09.2021) // Forbes Kazakhstan. - 2021. - S.22–28. URL: https://forbes.kz/articles/kak_kmg_provodit_svoyu_chetvertuyu_promyishlennuyu_revolyutsiyu. -Date of access: 26.08.2025. [in Russian]

12. Mahdieh Z. Data Analysis and Management in the Oil & Gas Industry// Inernational conference of new technologies in oil, gas and petrochemical engineering in Iran. -2024. DOI 10.13140/RG.2.2.28184.92165.

13. Schlumberger, Chevron i Microsoft ob”edinyatsya dlya tsifrovizatsii neftyanoi otrasli/ TACC. -2019. URL: https://tass.ru/ekonomika/6900650. -Date of access: 20.03.2024. [in Russian]

14. Fastovich V.V. Vliyanie iskusstvennogo intellekta na povyshenie effektivnosti upravleniya v neftegazovoi otrasli // Finansy i upravlenie. -2025. -№ 2. -S.157-173. DOI 10.25136/2409-7802.2025.2.74575. [in Russian]

15. Fedosimov S. Universal’ naya platforma AVIST -effektivnoe reshenie dlya neftegazodobyvayushchih predpriyatij/ITPS. -2015. URL: https://itps.com/press/article/universalnaya_platforma_avist_effektivnoe_reshenie_dlya_neftegazodobyvayushchikh_predpriyatiy/?utm_source=chatgpt.com. -Date of access: 29.01.2015. [in Russian]

16. Anshu S., Gurdeep S.R., Diem H.B., Parvinder P.S. Aging Midstream Supply Chain in the Oil and Gas Industry: Issues and AI-Based Solutions // Journal of Energy and Development. -2024. -Vol.49(2). DOI 10.56476/jed.v49i2.25.

17. Karakudukmunay hits one record after another: article in Oil&Gas of Kazakhstan magazine/ITPS. -2014. URL: https://itps.com/en/press/publications/2014_08_20-karakudukmunay_hits_one_record_after_another/. -Date of access: 26.08.2025.

18. Akpe T.A., Shuaibu I.N., Bolarinwa S., Henry O.I. Balancing plant safety and efficiency through innovative engineering practices in oil and gas operations//Global Journal of Advanced Research and Reviews. - 2024. -Vol.2(1). - P.023–046. DOI 10.58175/gjarr.2024.2.1.0029.

19. V Tengizshevroil rasskazali, kak ispol’ zuetsya iskustvennyi intellekt. URL: https://www.tengizchevroil.com/ru/operations/2024/04/06/how-artificial-intelligence-is-used-in-tengizchevroil. -Date of access: 06.04.2024. [in Russian]

20. Mechergui A., Onumaegbu I., Ekpenyong D. Optimizing gas fields using integrated asset modeling: OML58 Upgrade case study // SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition. - 2017: SPE-189071-MS. DOI 10.2118/189071-MS.

21. Krasen’ kov S.V. Razvitie tsifrovykh tekhnologii v neftegazodobyvayushchei otrasli // Spetsial’ nye sistemy i tekhnologii. URL: https://sst.ru/press/expert-articles/

the-development-of-digital-technology-in-the-oil-and-gas-industry/. -Date of access: 20.03.2024. [in Russian]

22. Azieva R.Kh. Monitoring rezul’ tatov tsifrovoi transformatsii v neftegazovoi otrasli // Estestvenno-gumanitarnye issledovaniya. -2022. -№ 40(2). - S. 21-29. [in Russian]

23. Kak «KazMunaiGaz» sovershaet svoyu chetvertuyu promyshlennuyu revolyutsiyu. -2021. URL: https: //sknews.kz/news/view/forbes.kz-kazmunaygaz-voshel-v-epohu-chetvertoy-promyshlennoy-revolyucii. -Date of access: 29.09.2021. [in Russian]

24. Shahnazryan A. Vozrast «tsifre» ne pomekha: stareishee mestorozhdenie «EmbaMunaiGaz» perekhodit na novye tekhnologii/ Ulys Media.-2013 URL: https://ulysmedia.kz. -Date of access: 28.11.2023. [in Russian]

25. Prezentatsiya proekta «Intellektual’ noe mestorozhdenie». URL: https://kgm.kz/ru/news/prezentaciya-proekta-intellektualnoe-mestorozhdenie. –Date of access: 26.10.2018. [in Russian]

26. Halbashkeev A. Mestorozhdeniya Kazakhstana ukhodyat v «tsifru» // Dobyvayushchaya promyshlennost’: Tsentral’ naya Aziya. -2023. URL: https://dprom.kz/trendy/myestorozhdyeneya-kazahstana-uhodyat-v-tsefru/. -Date of access: 16.05.2023. [in Russian]

Авторлар туралы мәліметтер

Нұранбаева Б.М. - химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Caspian University, Алматы, Қазақстан, e-mail: bulbulmold@gmail.com;

Жұматай А.М. - магистрант, Caspian University, Алматы, Қазақстан, e-mail: zhumatay.ansar7@gmail.com.

Information about the authors

Nuranbaeva B.M. - Ph.D. in Chemistry, Associate Professor, Caspian University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: bulbulmold@gmail.com;

Zhumatai A.M. - Master’ s student, Caspian University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: zhumatay.ansar7@gmail.com.

МРНТИ 87.53.13 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1319**

ВЛИЯНИЕ ВНЕДРЕНИЯ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ НА ЭКОСИСТЕМУ КАЗАХСТАНА

[1]Д.С. Хайриев, [2]А.К. Мукатай, [3,4]Ж.Т. Даулетжанова

[1]ТОО «RedSeven» Астана, Казахстан,
[2]ТОО «Офис Коммерциализации» Астана, Казахстан,
[3]ТОО «Институт химии угля и технологии», Астана, Казахстан,
[4]Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан

Корреспондент-автора: kaliyeva_zhanna@mail.ru

В условиях роста доли органической фракции в составе ТКО и ограниченных возможностей полигонного захоронения актуализируются технологии, позволяющие перераспределить потоки пищевых отходов из твердых коммунальных отходов в систему водоотведения. В статье рассматривается технология измельчителей пищевых отходов (ИПО) как элемент интегрированного управления органическими отходами и городскими сточными водами. Цель работы - обобщить международный опыт применения ИПО и оценить потенциальные экологические эффекты и инфраструктурные ограничения при внедрении технологии в Казахстане. Методологическая основа включает анализ научных публикаций и отчетов международных организаций, сопоставление сценариев обращения с органикой (полигон/раздельный сбор/компостирование/анаэробное сбраживание/передача через ИПО) и качественную оценку влияния на парниковые выбросы, нагрузку на систему очистки сточных вод и ресурсный потенциал (биогаз, извлечение питательных веществ).

Ключевые слова: пищевые отходы, измельчители пищевых отходов, твердые коммунальные отходы, канализационные сточные воды, очистные сооружения, анаэробное сбраживание, биогаз, экологическая оценка жизненного цикла.

ТАМАҚ ҚАЛДЫҚТАРЫН ҰСАҚТАҒЫШТАРДЫ ЕНГІЗУДІҢ ҚАЗАҚСТАН ЭКОЖҮЙЕСІНЕ ӘСЕРІ

[1]Д.С. Хайриев, [2]А.К. Мукатай, [3,4]Ж.Т. Даулетжанова

[1]«RedSeven» ЖШС, Астана, Қазақстан,
[2]«Офис Коммерциализации» ЖШС, Астана, Қазақстан,
[3]«Көмір химиясы және технологиясы институты» ЖШС, Астана, Қазақстан,
[4]Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail: kaliyeva_zhanna@mail.ru

Қатты тұрмыстық қалдықтардың құрамындағы органикалық үлестің өсуі және полигондық көму мүмкіндіктерінің шектелуі жағдайында органикалық қалдықтарды басқарудың орнықты технологиялары маңызды бола түсуде. Бұл мақалада тамақ қалдықтарын ұсақтағыштар (ИПО) технологиясы органикалық қалдықтар ағынын қатты қалдықтар жүйесінен кәріз жүйесіне ауыстыратын интеграцияланған шешім ретінде қарастырылады. Зерттеудің мақсаты - ИПО қолданудың халықаралық тәжірибесін жинақтап, технологияны Қазақстанда енгізу кезіндегі ықтимал экологиялық тиімділіктер мен инфрақұрылымдық шектеулерді бағалау. Әдістемелік негіз ретінде ғылыми жарияланымдар мен халықаралық ұйымдардың есептеріне шолу жасалды, органиканы өңдеудің әртүрлі сценарийлері (полигон, бөлек жинау, компосттау, анаэробты ашыту, ИПО арқылы тасымалдау) салыстырылды және парниктік газдар шығарындыларына, кәріз желілеріне/тазарту құрылыстарына түсетін жүктемеге, сондай-ақ ресурстық әлеуетке (биогаз, қоректік элементтерді қалпына келтіру) ықпалдары сапалық тұрғыда талданды. Нәтижелер ИПО енгізу тұрмыстық қалдықтардағы тағам фракциясын азайтып, полигондардағы метан түзілуін төмендетуге мүмкіндік беретінін көрсетеді. Сонымен бірге ағынды сулардағы органикалық жүктеме (БПК/ХПК, майлар) артып, тазарту

құрылыстарының жеткіліксіз қуаты жағдайында технологиялық тәуекелдер туындауы ықтимал. Қорытындыда ИПО технологиясын кезең-кезеңімен, пилоттық аумақтардан бастап енгізу, кәріз желілері мен тазарту құрылыстарының өткізу қабілетін алдын ала бағалау, сондай-ақ анаэробты ашыту жобаларымен үйлестіру және нормативтік базаны жаңарту қажеттігі негізделеді.

Түйін сөздер: тамақ қалдықтары, тамақ қалдықтарын ұсақтағыш, қатты тұрмыстық қалдықтар, кәріз ағынды сулары, тазарту құрылыстары, анаэробты ашыту, биогаз, өмірлік циклді бағалау.

IMPACT OF INTRODUCING FOOD WASTE DISPOSERS ON KAZAKHSTAN'S ECOSYSTEM

[1]D.S. Khairiev, [2]A.K. Mukatai, [3,4]Zh.T. Dauletzhanova

[1]LLP "RedSeven", Astana, Kazakhstan,
[2]LLP "Commercialization Office", Astana, Kazakhstan,
[3]LLP "Institute of Coal Chemistry and Technology", Astana, Kazakhstan,
[4]K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
e-mail: kaliyeva_zhanna@mail.ru

The growing share of organics in municipal solid waste (MSW) and the limited capacity of landfilling make source-level solutions for biodegradable waste increasingly relevant. This paper reviews food waste disposers (FWDs) as an element of integrated management of household organics and municipal wastewater. The aim is to synthesize international evidence on environmental benefits and infrastructure constraints and to outline the key considerations for potential implementation in Kazakhstan. The methodology combines a literature review of peer-reviewed studies and institutional reports with scenario-based comparison of common organic waste pathways (landfilling, separate collection, composting, anaerobic digestion, and diversion via FWDs into sewer systems). The analysis focuses on expected changes in greenhouse gas emissions, the organic load to sewer networks and wastewater treatment plants (BOD/COD and fats), and resource recovery opportunities such as biogas production and nutrient recycling. The reviewed evidence suggests that diverting food waste away from landfills can reduce methane formation and lower the MSW organic fraction, while co-treatment with sewage sludge may improve energy recovery where anaerobic digestion is available. At the same time, widespread FWD adoption can increase the organic and hydraulic loads on sewerage infrastructure and treatment processes, which may pose operational risks in systems with limited capacity. The paper concludes that Kazakhstan should consider phased, pilot-based deployment coupled with capacity assessments of sewer networks and wastewater treatment plants, alignment with anaerobic digestion projects, and updates to technical and regulatory requirements.

Keywords: food waste; food waste disposers; municipal solid waste; municipal wastewater; wastewater treatment plants; anaerobic digestion; biogas; life cycle assessment.

Введение. В условиях нарастающих экологических проблем, связанных с переработкой и утилизацией органических отходов, а также ограниченными возможностями полигонного захоронения, особую актуальность приобретают технологии, обеспечивающие устойчивое обращение с биологически разлагаемыми компонентами ТКО. Одним из таких решений является использование измельчителей пищевых отходов (ИПО), способных сократить нагрузку на систему сбора и транспортировки отходов, а также уменьшить долю органики, направляемой на полигоны. Кроме того, внедрение ИПО может повысить эффективность очистных сооружений при условии модернизации инфраструктуры, а также снизить углеродный след и объёмы метановых выбросов.

В работах посвящённых Казахстану, подчёркивается системный характер отходообразования и слабая эффективность традиционного полигонного сценария. Так, У.Б. Аскарова связывает рост негативного воздействия ТБО с недостаточной развитостью инфраструктуры переработки и утилизации, что усиливает экологические риски и требует модернизации подходов к обращению с отходами [1]. В близком клю-

че Г.А. Джалилова описывает «антропогенную эпоху ТКО» на примере Казахстана, акцентируя накопительный эффект коммунальных отходов и необходимость перехода от захоронения к более управляемым технологиям переработки [2]. Эти работы задают контекст: пищевые отходы следует рассматривать не как “фоновую” фракцию ТКО, а как приоритетный объект управления из-за высокой биодеградируемости и влияния на эмиссии при захоронении. Переход к более эффективным моделям обращения с пищевыми отходами требует количественной базы. В этом отношении полезны данные о морфологическом составе ТКО и доле пищевой фракции в городских системах, включая Алматы, представленные в источнике [3]. Несмотря на давность публикации, подобные табличные сведения важны для обоснования актуальности темы, а также для постановки задач исследования (оценка масштаба органической фракции, оценка потенциального эффекта перераспределения потоков органики). В связке с обзорными работами по Казахстану [1,2] источник [3,4] позволяет аргументировать, что именно органическая/пищевая фракция формирует значимую долю массы ТКО и способна определять экологические последствия выбранной схемы обращения. Заметный пласт литературы посвящён экономике и политике управления пищевыми отходами - прежде всего в России, как более “регуляторно оформленном” примере в регионе. А.П. Епишов систематизирует подходы государственной политики в сфере переработки и утилизации пищевых отходов, показывая, что институциональные механизмы (стимулы, ответственность участников цепочки, инфраструктурные решения) определяют практические сценарии и темпы внедрения технологий [5]. Л.К. Субракова рассматривает экономику обращения с пищевыми отходами, подчёркивая роль издержек логистики, сортировки/раздельного сбора и переработки, а также вопрос распределения затрат между участниками системы [6]. Эти источники важны для вашей темы тем, что внедрение измельчителей пищевых отходов (ИПО) – это не только технологический выбор домохозяйства, но и элемент управленческой модели, влияющий на финансовые параметры муниципальной системы: смещение органики из потока ТКО в поток сточных вод меняет структуру затрат и “ответственность” между операторами ТКО и водоканалом. Для Казахстана экономическая рамка раскрыта в работах, оценивающих политику сокращения ТБО и отношение населения к мерам управления отходами. Так, С.С. Калиева и соавторы применяют метод условной оценки (CV) для экономической оценки политики по сокращению ТБО в РК, что позволяет обосновывать управленческие решения через готовность общества поддерживать изменения и через оценку эффектов политики [7]. В практическом поле близкую тематику развивает Т.В. Петросянц, предлагая эколого-экономическую оценку и варианты утилизации пищевых отходов в РК [8]. В совокупности [7] и [4] задают важный для вашей статьи вывод: выбор технологии (включая ИПО) должен обсуждаться не только через экологические аргументы, но и через применимость в конкретных институциональных условиях Казахстана (готовность платить, приоритеты модернизации инфраструктуры, управляемость реализации).

Отдельное направление исследований касается переработки органической фракции, включая пищевые отходы, через анаэробное сбраживание и получение биогаза. Для обоснования технологической логики (и для разделов “Материалы и методы” / “Результаты и обсуждение”) ключевые источники - публикации А.Я. Ванюшиной и Д.А. Даниловича. В части 1 они позиционируют анаэробное сбраживание как базовую (ключевую) технологию обработки осадков городских сточных вод и обсуждают её роль в современных системах водоотведения [9]. В части 2 развивают тему, описывая технологические аспекты и значимость процесса для устойчивости очистных сооружений (энергоэффективность, управление осадком, интеграция в общую схему) [10]. Для статьи это принципиально: внедрение ИПО фактически увеличивает долю легкоразлагаемой органики, поступающей в систему водоотведения, а значит, повышает актуальность технологий обработки осадков (включая метантенки) и переводит вопрос ИПО из

“санитарно-бытового удобства” в плоскость оптимизации работы городских очистных сооружений. На уровне экспериментальной/прикладной проработки переработки пищевых отходов внутри Казахстана важной выглядит работа С.Б. Жапаровой и соавторов о термофильном сбраживании бытовых пищевых отходов [11]. Термофильный режим в целом рассматривается как потенциально более интенсивный по скорости процессов и по санитарной безопасности продукта, но требующий более строгого управления параметрами и энергоснабжения. Привлечение [11] позволяет вашей статье опираться не только на концептуальные схемы, но и на региональную научную базу, показывающую реализуемость биогазовых решений для пищевых отходов. Это особенно полезно при обсуждении сценариев, где ИПО рассматриваются как инструмент “подведения” органики к последующей анаэробной переработке (на очистных сооружениях или на специализированных объектах), при условии технической готовности инфраструктуры.

На рисунке 1 представлен сравнительный анализ выбросов CO_2-эквивалента при различных способах утилизации пищевых отходов.

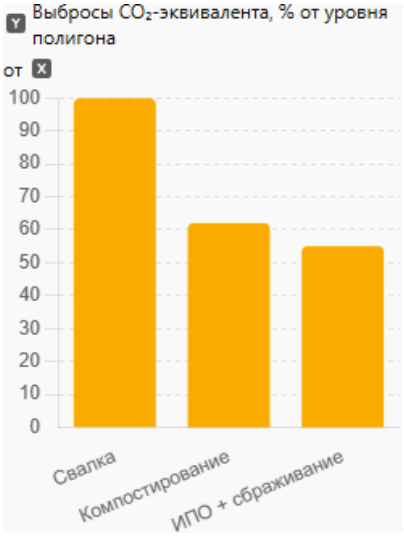


Рис.1 - Сравнительный углеродный след при утилизации пищевых отходов: свалка, компостирование, ИПО + сбраживание

В более прикладной плоскости исследование проведем сравнение капитальных и операционных затрат муниципалитетов до и после установки ИПО. Анализ сводит экономическую эффективность к времени окупаемости, составляющему в среднем от 2,5 до 4 лет, при условии получения побочных продуктов в виде биогаза.

Таблица 1 - Сравнительный анализ методов утилизации пищевых отходов

	Показатель	Свалка	Компостирование	ИПО + сбраживание
1	Средняя стоимость утилизации (USD/т)	40–80	30–60	20–50
2	Среднее время разложения	Месяцы–годы	2–6 месяцев	10–20 дней
3	Потенциал энергопроизводства	Нет	Ограниченный (тепло)	Высокий (биогаз)
4	Углеродный след (CO_2-экв.)	100%	62%	55%

На рисунке 2 показано различие в выбросах парниковых газов в зависимости от метода переработки отходов рассматривается роль ИПО в рамках «зелёной сертификации» жилищных комплексов. Авторы подчёркивают, что наличие ИПО в проекте способствует увеличению «зеленого рейтинга» и может использоваться как критерий устойчивого домостроения.

Таким образом, анализ источников [1-11] показывает, что современная дискуссия об обращении с пищевыми отходами в регионе строится вокруг трёх взаимосвязанных блоков: (i) экологическая необходимость сокращения по-

лигонного захоронения органики и управления ТКО как антропогенным фактором [1,2]; (ii) экономико-институциональная реализуемость и принятие населением, определяющие выбор технологий и механизмов внедрения [5-8]; (iii) технологическая база переработки органики (особенно анаэробное сбраживание) как ключевой элемент устойчивой системы, связанной как с сектором отходов, так и с сектором водоотведения [10-11]. При этом источники указывают и на исследовательский разрыв, который ваша статья может закрыть: недостаточно проработан именно “стык” систем ТКО и водоотведения в условиях Казахстана — от обоснования доли пищевой фракции и мотивации выбора технологии [3,4] до оценки готовности городской инфраструктуры и институциональных механизмов согласования интересов операторов ТКО и водоканала [5-7]. Это делает актуальным последующее исследование, в котором внедрение ИПО оценивается не изолированно, а как часть комплексной модели управления органическими отходами с учётом технических и экономических ограничений конкретных городов Казахстана.

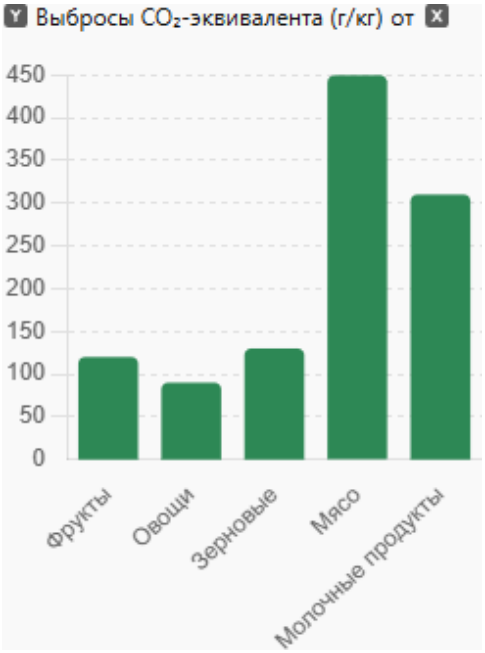


Рис.2 - Сравнение выбросов парниковых газов при различных методах утилизации пищевых отходов

Материалы и методы. Использование измельчителей пищевых отходов (ИПО) в условиях урбанизированной среды Казахстана представляет собой как перспективную экологическую инициативу, так и вызов для устаревшей инфраструктуры. Их внедрение оказывает разностороннее влияние на коммунальные и экологические системы, включая твёрдые бытовые отходы (ТБО), канализационные сети, очистные сооружения и климатические показатели.

С одной стороны, ИПО позволяют перерабатывать органическую фракцию ТБО на месте, что снижает общий объём вывозимых отходов на 20-25% и способствует уменьшению загрязнения на полигонах. Учитывая, что в структуре ТБО до 60% приходится на органику, установка ИПО в 50% домохозяйств Казахстана способна перераспределить до 1,5 млн тонн органических отходов в канализационную систему. Это приводит к значительному снижению массы гниющих отходов, уменьшению выбросов метана, сокращению популяции грызунов и насекомых и снижению расходов на вывоз мусора, особенно в малых городах.

С другой стороны, перераспределение органики в канализационные стоки повышает нагрузку на систему водоотведения. Согласно расчётам, биохимическая потребность в кислороде (BOD5) в сточных водах может возрасти на 20–40%, что требует дополнительной мощности аэротенков, повышения аэрационной производительности и реконструкции иловых площадок. На фоне того, что в более чем 20 городах Казахстана степень износа очистных сооружений превышает 70-90%, риск перегрузки инфраструктуры возрастает. В Таразе, где отсутствуют КОС, сточные воды сбрасываются через временные отстойники, что усугубляет угрозу вторичного загрязнения окружающей среды.

Проведённый анализ показал, что только 36% сточных вод в Казахстане очищаются безопасно, в соответствии с национальными или местными стандартами. Для сравнения, в странах с высоким уровнем экологической эффективности, таких как Сингапур, Нидерланды или Южная Корея, этот показатель превышает 99%. Таким об-

разом, при внедрении ИПО в Казахстане необходима синхронизация технологических и нормативных мер с национальной программой «Зелёный Казахстан».

Положительные климатические эффекты внедрения ИПО включают снижение выбросов CO_2 и CH_4 с полигонов, потенциал повторного использования органики для производства биогаза, а также переработку иловых осадков в компост или удобрения. В крупных городах возможно применение технологий анаэробного сбраживания для энергетической утилизации измельчённых отходов. Это позволит интегрировать ИПО в круговую экономику и систему устойчивого водоснабжения.

Тем не менее, внедрение ИПО требует комплексного подхода. Необходимо: модернизировать существующие КОС и проектировать новые с учётом будущих органических нагрузок; обновить СНиП и СанПиН с включением норм эксплуатации ИПО; предусмотреть стандарты технической эксплуатации, запрещающие сброс волокнистых и жиросодержащих отходов; обучить операторов КОС новым требованиям; проводить просветительскую работу среди населения о правилах эксплуатации ИПО.

По данным моделирования, установка ИПО в половине городских домохозяйств позволит: снизить общий объём ТБО до 4-4,25 млн тонн в год (против текущих 5,5 млн тонн); сократить частоту вывоза мусора на 30-50%; переработать до 1 млн тонн органических отходов на КОС с возможностью получения биоудобрений или метана; сократить выбросы парниковых газов с полигонов на 20-30%.

Однако потенциальные риски включают засоры в устаревших трубах, биообрастание и заиливание канализации, увеличение энергозатрат на очистку сточных вод, а также вероятность эвтрофикации водоёмов при сбросе недоочищенных стоков.

Таким образом, внедрение ИПО при текущем состоянии очистных сооружений требует поэтапного, научно обоснованного внедрения с обязательным технико-экономическим обоснованием. При выполнении необходимых модернизационных мер использование ИПО может стать ключевым элементом повышения экологической эффективности городов Казахстана и интеграции в международные климатические инициативы. В Казахстане проведено множество исследований, посвящённых анализу и очистке канализационных (сточных) вод. Ниже представлена таблица с ключевыми публикациями, организациями и направлениями исследований.

В Республике Казахстан в последние годы наблюдается рост научного интереса к оценке состояния сточных вод, их очистке и воздействию на окружающую среду. Исследования охватывают как лабораторные анализы состава канализационных стоков, так и оценку состояния инфраструктуры, разработку инновационных методов очистки и определение токсикологического профиля иловых осадков.

Наиболее активно мониторинг качества сточных вод осуществляется на крупных объектах, таких как ГКП ”Тоспа Су” (г. Алматы), где функционирует современная лаборатория, оснащённая химическим, бактериологическим, гидробиологическим и физико-химическим отделениями. Регулярный контроль осуществляется по таким показателям, как температура, pH, содержание нефтепродуктов, тяжёлых металлов, взвешенных веществ и микробиологическая нагрузка.

Проблемы с очисткой промышленных сточных вод остаются актуальными. По данным ЮКГУ им. М. О. Ауэзова, многие предприятия не справляются с технологическими нормативами по очистке, что связано с изношенным оборудованием, отсутствием современных технологий, а также с нехваткой квалифицированных специалистов. В качестве перспективных решений рассматриваются внедрение мембранных биореакторов, фотокаталитической очистки и реагентной коагуляции.

Анализ, опубликованный на платформе CyberLeninka и в других академических источниках, свидетельствует о том, что в некоторых городах степень износа канализационных очистных сооружений достигает 90%. Например, в

Кокшетау, Сарань, Риддере и Аркалыке изношенность КОС превышает допустимые эксплуатационные пределы, что ограничивает возможность приема дополнительных органических нагрузок от ИПО.

Применение инновационных решений в Казахстане представлено, в частности, технологией нитри-денитрификации на основе природного цеолита Чанканайского месторождения, которая успешно используется в ряде объектов Астаны и улучшает процессы биологической очистки. Также проводятся токсикологические исследования иловых осадков с целью оценки класса опасности, в том числе методом определения LD50 и биотестирования на модельных организмах.

Таким образом, существующий научный и практический задел показывает, что Казахстан обладает достаточным потенциалом для модернизации очистных сооружений с ориентацией на приём сточных вод, насыщенных органикой, включая переработанные ИПО отходы. Однако реализовать этот потенциал возможно лишь при синхронизации технологических, нормативных и образовательных изменений на всех уровнях.

Таблица 2 - Основные направления исследований и мониторинг канализационных масс в Казахстане

№	**Направление исследования**	**Описание**	**Примеры и результаты**
1.	Лабораторный анализ сточных вод	Изучение физико-хими- ческих и биологическихпараметров сточных вод для оценки их состава и степени загрязнения.	В лаборатории ДГКП ”Тоспа Су” проводится анализ сточных вод на всех стадиях очистки, включая химической, бактерио-логический и физико-химичес-кий и физико-химический контроль.
2.	Оценка состояния очистных сооружений	Анализ технического состояния и эффективностиработы канализационных очистных сооружений.	В Казахстане очистные сооружения установлены в 62 из 89 городов, однако в некоторых городах износ сооружений превышает 90%.
3.	Разработка и внедрение новых технологий очистки	Исследование и примене – ние современных методови материалов для повышения эффективнос-ти очистки сточных вод.	В Астане применена технология нитри-денитрификации с использованием цеолита Чанканайского месторождения, что улучшило процессы биологической очистки.
4.	Токсикологиче-ские исследования иловых осадков	Оценка токсичности иловых осадков для определения их класса опасности и способов утилизации.	Проведены эксперименты по определению LD50 и установлению степени токсич-ности иловых отходов на теплокровных животных.
5.	Анализ промышленных сточных вод	Изучение состава и методов очистки сточных вод, образующихся в результате промышленной деятельности.	Рассмотрены методы очистки промышленных сточных вод, включая предварительную, биохимическую и доочистку, а также проблемы утилизации отходов очистки.

Экологические и санитарные эффекты внедрения ИПО

Внедрение измельчителей пищевых отходов в масштабах городских агломераций Казахстана имеет значительные экологические, санитарные и климатические последствия. Одним из ключевых преимуществ технологии является сниже-

ние доли органических компонентов в структуре твёрдых бытовых отходов. По результатам моделирования, в случае установки ИПО в 50% домохозяйств объём органической фракции ТБО может быть уменьшен на 30-60% в зависимости от потребительских привычек населения и структуры питания.

Это приводит к следующим положительным последствиям: сокращается масса отходов, направляемых на полигоны, уменьшается частота вывоза мусора, снижается уровень выбросов метана, образующегося при анаэробном разложении органики, а также сокращается популяция грызунов и насекомых в зоне хранения ТБО. Учитывая, что в Казахстане до 90% отходов по-прежнему захораниваются, интеграция ИПО представляет собой важный элемент стратегии декарбонизации и устойчивого обращения с отходами.

Однако перераспределение органики из ТБО в сточные воды требует готовности канализационной и очистной инфраструктуры. Основными рисками являются увеличение BOD и COD показателей на 20-40%, рост иловой нагрузки, потенциальные засоры и биообрастание в трубопроводах при недостаточной пропускной способности, особенно в системах с гофрированными трубами или в населённых пунктах с септиками и выгребными ямами.

Для минимизации рисков и обеспечения адаптивности инфраструктуры в таких городах, как Астана, Алматы и Шымкент, возможно проведение следующих мероприятий: увеличение мощности аэротенков, внедрение систем анаэробного сбраживания органики с получением биогаза, обновление СНиП и СанПиН с учётом новых органических нагрузок, а также внедрение фильтрации тонкой очистки перед выпуском в водоёмы.

Экологический и климатический эффект заключается также в снижении объёмов сжигаемой органики, уменьшении выбросов CO_2 и NO_x, а также возможности повторного использования сточных вод для орошения или технических нужд при условии их качественной очистки. ИПО могут стать элементом городской системы замкнутого цикла, где органика поступает в биогазовые реакторы, а затем возвращается в виде энергии и удобрений.

Необходимые меры по успешному внедрению включают: проведение пилотных региональных проектов, формирование нормативной базы, экономическое стимулирование (в том числе субсидии на покупку ИПО), просветительскую работу среди населения и обучение персонала очистных станций. Эти шаги должны быть включены в реализацию стратегии «Зелёный Казахстан».

Таким образом, при условии технической готовности и согласованной политики на государственном и муниципальном уровнях, массовое внедрение ИПО способно существенно улучшить экологическую ситуацию в стране, повысить эффективность обращения с органикой и сформировать элементы циркулярной экономики в жилищно-коммунальном хозяйстве.

Результаты и обсуждение. Моделирование снижения нагрузки на полигоны и выбросов парниковых газов. Анализ структуры твёрдых бытовых отходов (ТБО) в Казахстане показывает, что ежегодно формируется около 5–6 млн тонн ТБО, из которых от 40% до 60% составляют органические пищевые отходы. Внедрение измельчителей пищевых отходов (ИПО) в 50% домохозяйств позволяет перераспределить существенную долю органики в сточные воды, что приводит к ряду социально-экологических эффектов.

Помимо этого, сокращение объёма органики на полигонах позволяет уменьшить выбросы метана (CH_4) на 20-30%, что позитивно влияет на климатическую политику страны и способствует выполнению обязательств по Парижскому соглашению. Снижение затрат на транспортировку отходов может достигать 20-50%, особенно в малых и средних городах, что делает технологию ИПО экономически привлекательной для муниципалитетов.

С другой стороны, перераспределение органики из ТБО в канализационные стоки увеличивает нагрузку на очистные сооружения. При 100% установке ИПО суточный показатель BOD_5 (биохимическая потребность в кислоро-

де) может увеличиться на 20-40%, а общее количество перерабатываемой органики на КОС - на 1,2-1,5 млн тонн. Это приводит к необходимости увеличения аэротрофных мощностей, пересмотра параметров иловых площадок и внедрения энергоэффективных технологий очистки, таких как мембранные реакторы и анаэробное сбраживание с получением биогаза.

Таблица 3 - Потенциал сокращения объёма ТБО при массовом внедрении ИПО

№	**Показатель**	**До внедрения ИПО**	**После внедрения ИПО (50% домов)**	**Изменение**
1	Органические отходы в ТБО	2,5-3млн тонн/год	~1,25–1,5 млн тонн/год	-50%
2	Общий объём ТБО	5,5 млн тонн	4-4,25 млн тонн	-20-25%
3	Частота вывоза мусора	Высокая (1-3 р/нед)	Снижена на 30–50%	-
Примечание: если ИПО установлены в 50% домохозяйств				

Экологический эффект может быть дополнительно усилен за счёт интеграции ИПО в биометанизационные комплексы. Биогаз, получаемый из переработанной органики, может быть использован для генерации электроэнергии, отопления или как транспортное топливо, тем самым снижая углеродный след и обеспечивая устойчивое использование ресурсов.

Таблица 4 - Результаты эффективности при 50% охвата применения ИПО

№	**Эффект**	**Оценка**
1	Снижение объёма свалок	-1,5 млн тонн/год (в среднем)
2	Снижение метановых выбросов	-20-30% от текущих выбросов с полигонов
3	Снижение затрат на транспортировку отходов	-20-50% (особенно в малых городах)
4	Потенциал переработки на КОС в органические удобрения	до 1 млн тонн/год

Тем не менее, существующие инфраструктурные ограничения требуют учёта ряда факторов: высокий уровень износа КОС (до 90% в ряде городов), отсутствие централизованной канализации в более чем 30% населённых пунктов, правовой вакуум в части применения ИПО в нормативных документах (СНиП, СанПиН).

Таким образом, полноценное внедрение ИПО и реализация связанных экологических выгод возможны только при параллельной модернизации водоотводных и очистных систем, актуализации нормативной базы и запуске региональных программ по устойчивому обращению с отходами. При выполнении этих условий, Казахстан способен достигнуть значительного прогресса в области декарбонизации, ресурсосбережения и устойчивого развития коммунальной инфраструктуры.

Сточные воды - это воды, загрязненные отходами разного происхождения. В большинстве случаев это бытовые и производственные отходы.

«В рейтинге IMD используется показатель «Безопасно очищенные сточные воды», который рассчитывается как процент населения страны, подключенного к очистным сооружениям. При расчете данного показателя используется база данных ЦУР. Индикатор направлен на отслежи-

вание процентной доли сточных вод из различных источников (домохозяйства, сфера услуг, промышленность и сельское хозяйство), которые очищаются в соответствии с национальными или местными стандартами. В рейтинге IMD 2023 Казахстан по данному показателю занял 56 место со значением 35,7% (при этом стоит учитывать, что использовались данные за 2020 год). Лидирующие позиции заняли следующие страны: Сингапур (100%), Нидерланды (99,8%), Катар (99,5%), Южная Корея (99,5%) и Германия (99,3%). Замыкают рейтинг такие страны, как Таиланд (24,4%), Колумбия (21,3 %) и Монголия (10,4%)», – сообщили авторы исследования. «При этом наибольший процент очистки сточных вод имеют такие страны, как Кувейт, Сингапур, Андорра, Гибралтар и Катар (все страны имеют стопроцентную очистку). Многие развивающиеся страны обрабатывают менее 10% (Малави, Сенегал, Мали). Казахстан проводит безопасную очистку 36% сточных вод».

В ходе проведённого научного исследования обоснована высокая экологическая и инфраструктурная значимость применения измельчителей пищевых отходов (ИПО) как эффективного инструмента управления органической фракцией твёрдых коммунальных отходов (ТКО) в условиях урбанизированной среды. Анализ современных технических решений, зарубежного и казахстанского опыта, а также результаты моделирования показали, что внедрение ИПО позволяет существенно сократить объёмы органики, поступающей на полигоны, снизить выбросы парниковых газов, уменьшить расходы на транспортировку и повысить санитарное состояние городской среды.

Мета-анализ продемонстрировал, что успешное внедрение ИПО требует многоуровневой поддержки - от нормативно-правового регулирования и модернизации инфраструктуры до формирования потребительской культуры и мотивации. Анализ зарубежных практик (США, Германия, Япония, Швеция) показал, что ключевым фактором является интеграция ИПО в комплексную систему обращения с отходами, где технологии утилизации и очистки сочетаются с просветительской деятельностью и государственной политикой по поддержке устойчивого развития.

Моделирование показало, что при оснащении измельчителями до 50% домохозяйств Казахстана возможно перерабатывать до 1,5 млн тонн органических отходов ежегодно. Это позволит снизить общий объём ТКО на 20-25%, одновременно сократив нагрузку на полигоны и канализационные очистные сооружения. Таким образом, технология ИПО способна сыграть роль катализатора экологической модернизации коммунальной отрасли страны. Вместе с тем, исследование выявило ряд ограничений: изношенность сетей водоотведения, дефицит производственных мощностей КОС, низкий уровень нормативной готовности, а также ограниченное знание потребителей о правилах эксплуатации ИПО. Эти факторы могут замедлить масштабирование технологии и вызвать риски вторичного загрязнения или засоров в системах водоотведения.

Выводы. На основании проведённого анализа установлено, что органическая фракция ТКО составляет до 50-60% от их общего объема, а переработка этих отходов на месте образования посредством ИПО позволяет значительно сократить массу и объём твёрдых отходов, направляемых на полигоны, тем самым снижая потребность в их транспортировке и утилизации.

Для реализации проекта необходимо:

- разработать и утвердить нормативно-технические регламенты, санитарные и строительные требования к установке и использованию ИПО в жилом и коммерческом фонде;

- инициировать интеграцию ИПО в национальные и региональные программы по обращению с отходами, устойчивому городскому развитию и декарбонизации экономики;

- создать механизмы государственной поддержки - субсидии, налоговые льготы, кредитные линии и участие в программах «зелёного финансирования»;

Комплексная реализация вышеперечисленных мер позволит не только повысить эффективность системы обращения с органически-

ми отходами, но и обеспечить экологическую и санитарную безопасность, снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду и создать устойчивую модель городской среды. Внедрение ИПО при соблюдении технических, нормативных и организационных условий способно стать неотъемлемым элементом стратегии перехода Республики Казахстан к принципам циркулярной экономики, устойчивого потребления и ресурсосбережения, а также повысить качество жизни населения в долгосрочной перспективе.

***Примечание**: В процессе подготовки статьи использовались инструменты искусственного интеллекта, в том числе языковая модель GPT-4, предоставляемая OpenAI Модель использовалась исключительно для помощи в редактуре текста и структурировании научного изложения.*

Литература

1. Аскарова У.Б., Мустафаева Р.М. Проблемы утилизации твердых бытовых отходов и их влияние на экологию в Казахстане // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук.- 2014.- № 8(2).- С.12-14.

2. Джалилова Г.А. Антропогенная эпоха твердых коммунальных отходов// Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). - 2013. -№ 19 (45). - С. 93–97.

3. Байдалинова А.С., Байгиреева Ж.З., Ниязбекова Ш.У. Экономические аспекты управления пищевыми отходами в Казахстане: проблемы, тенденции и перспективы//Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университетінің Хабаршысы.- 2025.-№ 2.-С.143-162. DOI 10.32523/2789-4320-2025-2-143-162.

4. Козлов Г.В., Ивахнюк Г.К. Морфологический состав твердых коммунальных отходов по регионам мира в xx и начале XXI века (обзор)// Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета), Серия Экология и системы жизнеобеспечения. -2014.- № 24 (50).- С.58-66.

5. Епишов А.П. Государственная политика в сфере переработки и утилизации пищевых отходов в России // Вестник Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова.- 2022.- № 6.- С.17-23. DOI 10.21686/2413-2829-2022-6-17-23.

6. Субракова Л.К. Экономика обращения с пищевыми отходами в России // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Экономика и управление.- 2021.- № 1.- -С.37- 48. DOI 10.17308/econ.2021.1/3322.

7. Калиева С.С. и др. Экономическая оценка политики по сокращению ТБО в Республике Казахстан с использованием метода условной оценки (CV) // Вестник университета «Туран». 2024. - № 3. - С.23-34. DOI 10.46914/1562-2959-2024-1-3-23-34.

8. Петросянц Т.В. Эколого-экономическая оценка и утилизация пищевых отходов в РК // Вестник науки.- 2023.-№ 12(69).-С.1050-1054.

9. Ванюшина А.Я., Данилович Д.А. Анаэробное сбраживание - ключевая технология обработки осадков городских сточных вод (часть 1) // Водоснабжение и санитарная техника. 2013.- № 10. С.58-65.

10. Данилович Д.А., Ванюшина А.Я. Анаэробное сбраживание - ключевая технология обработки осадков городских сточных вод (часть 2) // Водоснабжение и санитарная техника.- 2013. -№ 11. С.50-57.

11. Жапарова С.Б., Баязитова З.Е., Курманбаева А.С. и др. Термофильное сбраживание бытовых пищевых отходов // Вестник Карагандинского университета. -2022.- №107(3).- С.56-66. DOI

10.31489/2022BMG3/56-66.

References

1. Askarova U.B., Mustafaeva R.M. Problemy utilizacii tverdyh bytovyh othodov i ih vlijanie na jekologiju v Kazahstane // Aktual’ nye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk.- 2014. - № 8(2).- S.12-14. [in Russian]

2. Dzhalilova G.A. Antropogennaja jepoha tverdyh kommunal’ nyh othodov// Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo instituta (tehnicheskogo universiteta). - 2013. -№ 19 (45). - S.93–97. [in Russian]

3. Bajdalinova A.S., Bajgireeva Zh.Z., Nijazbekova Sh.U. Jekonomicheskie aspekty upravlenija pishhevymi othodami v Kazahstane: problemy, tendencii i perspektivy//L.N. Gumilev atyndaғy Eurazija Ұlttyқ universitetinің Habarshysy.- 2025.-№ 2.-S.143-162. DOI 10.32523/2789-4320-2025-2-143-162. [in Russian]

4. Kozlov G.V., Ivahnjuk G.K. Morfologicheskij sostav tverdyh kommunal’ nyh othodov po regionam mira v xx i nachale XXI veka (obzor)// Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo instituta (tehnicheskogo universiteta), Serija Jekologija i sistemy zhizneobespechenija. -2014.- № 24 (50).- S.58-66. [in Russian]

5. Epishov A.P. Gosudarstvennaja politika v sfere pererabotki i utilizacii pishhevyh othodov v Rossii // Vestnik Rossijskogo jekonomicheskogo universiteta im. G.V. Plehanova.- 2022.- № 6.- S. 17-23. DOI 10.21686/2413-2829-2022-6-17-23. [in Russian]

6. Subrakova L.K. Jekonomika obrashhenija s pishhevymi othodami v Rossii // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Jekonomika i upravlenie.- 2021.- № 1.- -S.37- 48. DOI 10.17308/econ.2021.1/3322. [in Russian]

7. Kalieva S.S. i dr. Jekonomicheskaja ocenka politiki po sokrashheniju TBO v Respublike Kazahstan s ispol’ zovaniem metoda uslovnoj ocenki (CV) // Vestnik universiteta «Turan».2024. - № 3. - S. 23-34. DOI 10.46914/1562-2959-2024-1-3-23-34. [in Russian]

8. Petrosjanc T.V. Jekologo-jekonomicheskaja ocenka i utilizacija pishhevyh othodov v RK // Vestnik nauki.- 2023.-№ 12(69).-S.1050-1054. [in Russian]

9. Vanjushina A.Ja., Danilovich D.A. Anajerobnoe sbrazhivanie - kljuchevaja tehnologija obrabotki osadkov gorodskih stochnyh vod (chast’ 1) // Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika. 2013. - № 10. S.58-65. [in Russian]

10. Danilovich D.A., Vanjushina A.Ja. Anajerobnoe sbrazhivanie - kljuchevaja tehnologija obrabotki osadkov gorodskih stochnyh vod (chast’ 2) // Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika.- 2013. -№ 11. S.50-57. [in Russian]

11. Zhaparova S.B., Bajazitova Z.E., Kurmanbaeva A.S. i dr. Termofil’ noe sbrazhivanie bytovyh pishhevyh othodov // Vestnik Karagandinskogo universiteta. -2022.- №107(3).- S.56-66. DOI 10.31489/2022BMG3/56-66. [in Russian]

Сведения об авторах

Хайриев Д. С. - директор ТОО «RedSeven», Астана, Казахстан, e-mail: d.hairiev@gmail.com;

Мукатай А. К. - директор ТОО «Офис Коммерциализации», Астана, Казахстан, e-mail: ablay.m.k@gmail.com;

Даулетжанова Ж. Т. - доктор PhD, доцент Казахского университета технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, ведущий научный сотрудник ТОО «Институт Химии угля и технологии», Астана, Казакстан e-mail: kaliyeva_zhanna@mail.ru.

Information about the authors

Khayriev D. S. - director of «RedSeven» LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: d.hairiev@gmail.com;

Mukatai Ablaikhan Karimgazyuly – Director of «Commercialization Office» LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: ablay.m.k@gmail.com;

Dauletzhanova Zhanna Taumuratovna - PhD Doctor, Technology, Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov, Leading Researcher of LLP ”Institute of Coal Chemistry and Technology”, Astana, Kazakhstan, e-mail: kaliyeva_zhanna@mail.ru.

МРНТИ 52.01.76 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1140**

БЕЛАРУСЬ РЕСПУБЛИКАСЫНДАҒЫ ЗИЯНДЫ ЖӘНЕ ҚАУІПТІ ЕҢБЕК ЖАҒДАЙЛАРЫ

Л.М. Актаева, Ә.Б. Бекмағамбетов, А.М. Рахметова, Э.А. Құлмағамбетова, А.О. Абжаппарова, Н.Б. Әбдрахманова, Н.Т. Сағындықова

Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты ШЖҚ РМК, Астана, Қазақстан

Корреспондент-автор: elya_kulmagambet@mail.ru

Денсаулыққа қауіпті жағдайларда жұмыс істейтін қызметкерлер үшін әлеуметтік кепілдіктер тақырыбы Беларусь Республикасында өзекті болып табылады және егжей-тегжейлі қарауды қажет етеді. Мұндай жағдайларда жұмыс істеу денсаулыққа ауыр зардаптарға әкелуі мүмкін, бұл мұндай жұмысшылар үшін қосымша қорғауды қамтамасыз етуді қажет етеді.

Бұл жұмыста зиянды және қауіпті еңбек жағдайларында жұмыс істейтін адамдар үшін Беларусь заңнамасында қарастырылған әлеуметтік кепілдіктердің негізгі түрлері қарастырылады.

Өтемақы, қысқартылған жұмыс уақыты, медициналық тексерулер мен еңбек жағдайлары, сондай-ақ кәсіптік аурулар немесе жарақаттар туындаған жағдайда құқықтық қорғау және төлемдер мәселелеріне ерекше назар аударылады.

Зерттеу барысында қолданыстағы әлеуметтік қорғау жүйесінің күшті жақтары да, қызметкерлердің қауіпсіздігі мен денсаулығын тиімдірек қамтамасыз ету үшін оны жетілдірудің мүмкін жолдары да анықталды.

Түйін сөздер: әлеуметтік қорғау, еңбек жағдайы, кепілдіктер, зиянды және қауіпті еңбек жағдайлары, өтемақылар

ВРЕДНЫЕ И ОПАСНЫЕ УСЛОВИЯ ТРУДА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Л.М.Актаева, А.Б. Бекмагамбетов, А.М. Рахметова, Э.А. Кульмагамбетова, А.О. Абжаппарова, Н.Б. Абдрахманова, Н.Т. Сагиндикова

РГП на ПХВ Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан, Астана, Казахстан, e-mail: elya_kulmagambet@mail.ru

Тема социальных гарантий для работников, трудящихся в условиях, опасных для здоровья, является актуальной в Республике Беларусь и требует детального рассмотрения. Работа в таких условиях может иметь серьезные последствия для здоровья, что делает необходимым обеспечение дополнительной защиты для таких работников.

В данной работе рассматриваются основные виды социальных гарантий, предусмотренные белорусским законодательством для людей, трудящихся во вредных и опасных условиях труда.

Особое внимание уделяется вопросам компенсаций, сокращенного рабочего времени, медицинских обследований и условий труда, а также правовой защите и выплатам в случае возникновения профессиональных заболеваний или травм.

В ходе исследования выявлены как сильные стороны существующей системы социальной защиты, так и возможные пути её совершенствования для более эффективного обеспечения безопасности и здоровья работников.

Ключевые слова: социальная защита, условия труда, гарантии, вредные и опасные условия труда, компенсации.

HARMFUL AND DANGEROUS WORKING CONDITIONS IN THE REPUBLIC OF BELARUS

L.M. Aktayeva, A.B. Bekmagambetov, A.M. Rakhmetova, E.A. Kulmagambetova✉, A.O. Abzhapparova, N.B. Abdrakhmanova, N.T. Sagindykova

RSE at the 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

The topic of social guarantees for workers working in conditions dangerous to their health is relevant in the Republic of Belarus and requires detailed consideration. Working in such conditions can have serious health consequences, which makes it necessary to provide additional protection for such workers.

This paper examines the main types of social guarantees provided by the Belarusian legislation for people working in harmful and dangerous working conditions.

Special attention is paid to compensation, shorter working hours, medical examinations and working conditions, as well as legal protection and payments in case of occupational diseases or injuries.

The study identified both the strengths of the existing social protection system and possible ways to improve it to better ensure the safety and health of employees.

Keywords: social protection, working conditions, guarantees, harmful and dangerous working conditions, compensation

Кіріспе. Қазіргі өндірісте салауатты және қауіпсіз еңбек жағдайларын толық қамтамасыз ету көбінесе қол жетпейтін идеал болып табылады. Сондықтан қауіпсіз технологияларды енгізу мүмкін емес немесе экономикалық тұрғыдан қолайсыз жерлерде өндірістік әлеуметтік-техникалық жүйелердегі адам факторын есепке алу зиянды және қауіпті жағдайларда жұмыс істегені үшін өтемақы ұсыну жолымен жүреді.

Біздің елімізде зиянды және (немесе) қауіпті еңбек жағдайларында жұмыс істегені үшін өтемақы жүйесі жұмыс күшінің ықтимал және нақты тозу қаупін өтеу қажет деген ережеге сүйене отырып құрылды. Өндірістік жағдайлар жұмыскердің денсаулығына кері әсер ететіні белгілі жай.

Сондықтан, бұл жағдайда жұмыс күшінің нақты тозуы қалыпты еңбек жағдайымен, жұмыс қабілеттілігі мен денсаулығының жоғалуымен салыстырғанда ертерек белең алады деп саналады. Негізінде бұл жүйеге КСРО-да қалыптасқан қағидалар тірек болған.

Зиянды және (немесе) қауіпті еңбек жағдайларында жұмыс істегені үшін берілетін өтемақының жалпы сипаттамасы. ТМД елдерінде ол бұрынғы күйінде қызмет етеді немесе оның функциялары ұжымдық-шарттық реттеу тетігі арқылы жүзеге асырылуда. Зиянды өтеу мәселелерін шешуде Беларусь Республикасы Конституциясының 46, 47, 61-баптары [1] және Беларусь Республикасы Еңбек кодексінің нормалары [2] құқықтық негіз болып табылады. Еңбек кодексінің 11-бабының 7-тармағына сәйкес қызметкер әлеуметтік сақтандыруға, зейнетақымен қамсыздандыруға және кәсіптік ауруы, еңбек жарақаты, мүгедектігі жағдайында айтулы кепілдіктерге құқылы.226-баптың 13-тармағында жұмыскердің өмірі мен денсаулығына келтірілген зиянды өтеу міндеті белгіленген, ал 224-бапқа сәйкес жұмыс беруші жұмыскердің өндірістегі жазатайым оқиғалардан және кәсіптік аурулардан сақтандырылуы міндеттелген [3].

Материалдар мен әдістер. *Қысқартылған жұмыс күні және қосымша демалыс*. Беларусь Республикасының Еңбек кодексінің 113 бабына сәйкес еңбек жағдайлары зиянды және (немесе) қауіпті жұмыстарда жұмыс істейтін қызметкерлер үшін жұмыс уақытының қысқартылған ұзақтығы – аптасына 36 сағаттан аспайтын болып белгіленеді. Қысқартылған жұмыс күні уақытпен қорғау функциясын орындайды - зиянды факторлардың әсер ету уақытын азайту, жұмысшыларды олардың әрекет ету аймағынан шамалы уақытқа алшақтату арқылы жұмысшыларға зиянды еңбек жағдайларының әсер етуін төмендетеді

Нәтижесінде жұмыс күшінің артық шығыны азаяды, оның қалпына келтірілуі жеңілдейді.

Қосымша демалыс уақытпен оңалту функциясын орындайды - берілген демалыс кезеңінде (негізгі демалыспен бірге) қызметкер еңбек міндеттерін орындау мүмкіндіктерін қалпына келтіруі керек.

Қазіргі уақытта өтемақылардың осы түрлерін қолдану шарттарын реформалау бойынша, олар бүгінгі күннің нақты талаптарына жауап беруі, ұйымдардағы еңбек жағдайларының жайкүйімен тығыз байланысты болуы, жұмыс беруші мен қызметкерлерді еңбек жағдайларын жақсартуға ынталандыру тетігінің элементіне айналуы үшін қарқынды жұмыс жүргізілуде. Бұл норма Беларусь Республикасының Еңбек кодексіне енгізілген өзгерістерге сәйкес қолданысқа енгізіледі [4].

Көрсетілген өтемақылар жұмыскерлерге еңбек жағдайлары бойынша жұмыс орындарын аттестаттаумен міндетті байланыста берілетін болады.

Ерекше еңбек жағдайларына байланысты жұмысы үшін жасына байланысты зейнетақы. Жалпы, зейнетақының бұл түріне жұмсалған шығындар жалпы зейнетақы жүйесі қаражатының 4,5 - 5% немесе еңбек зейнетақыларына жұмсалған шығыстардың 5,5 - 5% құрады. Мерзімінен бұрын зейнетақыға арналған шығыстар еңбек зейнетақыларын (жалпы зейнетақы жүйесінің қаражаты) төлеуге арналған халықты әлеуметтік қорғау қорының қаражатынан қаржыландырылады.

Ерекше (зиянды және қауіпті) еңбек жағдайларына байланысты жасына байланысты мерзімінен бұрын зейнетақымен қамсыздандыруды ұсынудың құқықтық базасы «Зейнетақымен қамсыздандыру туралы» Беларусь Республика Заңының 12-16-бабы болып табылады [5]. Мұндай зейнетақы еңбек жағдайлары бойынша жұмыс орындарын аттестаттау негізінде тағайындалады және меншік нысанына қарамастан барлық ұйымдар мен басқа шаруашылық жүргізуші субъектілер үшін бірыңғай процесс болып табылады. Қазіргі уақытта ерекше еңбек жағдайларында жұмыс істегені үшін жасына байланысты зейнетақы алуға құқық беретін өндірістердің, жұмыстардың, кәсіптердің, лауазымдар мен көрсеткіштердің жаңа тізімдері қолданысқа енгізілді [6].

Жоғары мөлшерде еңбекақы төлеу. Зиянды және (немесе) қауіпті еңбек жағдайлары бар жұмыстарда істейтін жұмыскер жоғары мөлшерде еңбекақы төлемін алуға құқылы.

Біріншіден, Беларусь Республикасы қызметкерлерінің Бірыңғай тарифтік сеткасын қолдану тәртібі туралы нұсқаулыққа сәйкес [7], жұмыстың технологиялық түрлері, экономикалық қызмет түрлері және де жұмысы зиянды және (немесе) қауіпті жағдайларда атқарылады деп ұйғарылатын салалар бойынша орындалатын жұмыстардың технологиялары мен күрделілігіне, өндіріс түрі мен салалық тиістілігіне қарай жұмысшылардың тарифтік ставкаларын (жалақыларын) арттыру коэффициенттері белгіленеді. Бұл норма жанама түрде аумақтарды залалсыздандыру кезінде, химиялық өндірістерде, суды тазарту және хлорлау кезінде, мұнай өнімдерін, резеңке және пластмасса бұйымдарын, шыны талшықты, тау-кен өнеркәсібінде және т. б. өндіруде, сондай-ақ жекелеген жұмыстарды жүргізу кезінде, мысалы, дефектоскопиямен, қол еңбегімен және т. б. байланысты зиянды өндірістік факторлардың әсеріне байланысты жұмыстарға қатысты.

Екіншіден, жұмыс орындарын аттестаттау нәтижелері бойынша еңбек жағдайларына олардың зияндылық дәрежесіне қарай тарифтік ставкалар мен лауазымдық төлемақыларға қосымша ақылар белгіленеді.

Зиянды және ауыр еңбек жағдайларында жұмыс істегені үшін ең аз кепілдендірілген қосымша ақының мөлшерін айқындау кезінде БР Үкімет кеңесі белгілейтін бірінші разрядты тарифтік ставка қолданылады. Жалға алушының ең төменгі кепілдендірілген төлемдерден төмен қосымша төлем мөлшерін белгілеуге құқығы жоқ. Жалға алушы бірінші разрядты тарифтік мөлшерлемені БР мин мөлшерінен асатын мөлшерде қолданған жағдайда, қосымша төлем сомаларын есептеу жалға алушы қолданатын бірінші

разрядты тарифтік мөлшерлемеден өнімнің (жұмыстардың, көрсетілетін қызметтердің) өзіндік құнына толық көлемде төленген қосымша төлем сомаларын жатқыза отырып жүргізіледі.

Емдік-профилактикалық тамақтану. Кейбір өндірістерде қолайсыз өндірістік факторлардың адам ағзасына әсерін әрдайым техникалық шаралар, жеке және ұжымдық қорғаныс құралдары, еңбек пен демалысты ұйымдастыру арқылы жол бермеу мүмкін болмайды. Мұндай жағдайларда олардың әсері емдік-профилактикалық тамақ, сүт немесе оған теңестірілген тамақ өнімдерін беру жолдарымен бәсеңдетіледі немесе жойылады.

Сүт беру мәселелері зиянды заттармен жұмыс істеу кезінде жұмысшыларды сүтпен немесе оған теңестірілген азық-түлікпен тегін қамтамасыз ету ережелерімен [8] және профилактикалық мақсатта жұмыс істеу кезінде сүт немесе оған теңестірілген тамақ өнімдерін пайдалану көрсетілген зиянды заттардың тізімімен реттеледі [9].

Жұмыскерлерді сүтпен тегін қамтамасыз ету мәселелерін шешкен кезде зиянды заттармен жұмыс істеуге қызметкердің олармен байланысын анықтайтын кез-келген кәсіби қызмет, оның ішінде оларды өндіру, қолдану, сақтау, тасымалдау, пайдалану, жөндеу және тазарту, технологиялық жабдықтар, ыдыстар, қондырғы, қорғаныс құралдары және басқа да өндірістік процестер, сондай-ақ I және II класты жұмыстарға сәйкес келетін жұмыс орнындағы белсенділігі бар ашық радионуклидті көздермен жұмыс істеу кіретінін есте ұстаған жөн.

Нәтижелер және талқылау. Қазіргі кезеңдегі проблемалар. Соңғы жылдары өтемақыны пайдаланатын жұмысшылар саны көптеген позициялар бойынша тұрақты өсу тенденциясына ие, бұл Беларусь Республикасының өнеркәсібінде жиі кездеседі.

Қазіргі уақытта ең көп қолданылатын өтемақылардың бірі ретінде қарастыруға болатын зиянды және ауыр еңбек жағдайларында жұмыс істегені үшін қосымша ақы алатын жұмысшылар саны артып келеді. Өтемақының осы түрін пайдаланатын жұмыскерлердің үлес салмағы 2011 жылдан бастап 1,5 есе өсті.

Беларустағы қазіргі жағдай қолданыстағы өтемақы тетіктерін сақтау еңбек жағдайларын жақсартуға елеулі кедергілердің бірі болып табылады деп есептеуге мүмкіндік береді. Қолданыстағы экономикалық механизм өндірістік орта факторларының жақсаруын және осы негізде кез-келген өтемақыны пайдаланатын жұмысшылар санының, сондай-ақ байланысты шығындардың азаюын ынталандырмайды. Сондықтан өтемақы жүйесі кәсіпорындарды аса күйзелтпейді, олардың жұмыстарының экономикалық көрсеткіштеріне әсері де шамалы. Жұмысшылар да, жұмыс берушілер де жеңілдіктердің жоғалуына әкелетін еңбек жағдайларын жақсартқысы келмейді - жұмысшылар негізгі жалақыға қандай да бір қосымша алуға қанағаттанады, ал жұмыс берушілер оларды кадрларды тарту және бекіту мақсатында жиі пайдаланады.

Өтемақы (компенсация) жүйесінің елеулі кемшілігі - жұмысшыларды өндірістік орта факторларының қолайсыз әсерінен әлеуметтік қорғау мәселесін тұтастай шешпестен, бұл еңбек жағдайларын жақсарту жөніндегі қызметті ынталандырмайтындығы. Бұл қолайсыз еңбек жағдайлары жұмыс істеп тұрған және жаңадан іске қосылған кәсіпорындарда айтарлықтай дәрежеде сақталатынын түсіндіреді.

Бұл жүйені шамадан тыс орталықтандыру жауапкершілікті азайтады және жұмыс берушінің дербестігін шектейді. Өтемақы берудің құқықтық негізі болып табылатын кәсіптердің, лауазымдардың, жұмыстардың, өндірістердің тізімдері мен тізімдері белгілі бір жұмыс орнындағы еңбек жағдайларын бағалаудың объективтілігімен әлсіз байланысты, сондықтан өтемақылар, әдетте, еңбек жағдайындағы өзгерістерді ескермей, ресми негізде беріледі.

Еуроодақтық бірде-бір елде жарты ғасырға жуық уақыттан бері мұндай жүйе жоқ. Жаһандану дың ғаламдық процестері олардың әлеуметтік жүйелерінің құқықтық және әкімшілік құрылымдарын технологиялар мен экономиканың дамуымен сәйкестендіруге мәжбүрлейді. Қазір денсаулық қайтарымсыз инвестиция ретінде қа-

растырылмайды – еңбек қауіпсіздігі мен еңбекті қорғауға салынған инвестициялар адами капиталдың өсуіне апарады және қазіргі мен болашақ ұрпақтың өмірлік әлеуметтік табысына айналады. Еңбекті қорғауға және оның қауіпсіздігін арттыруға барынша көп инвестиция салатын елдер ең жоғары еңбек өнімділігіне және бәсекеге қабілетті экономикаға ие екендігі анықталды.

Ғаламдық ауқымдағы бәсекелестіктің өсуі жұмыс берушілердің еңбекті қорғау шараларының құнын, нақты өтемақыларды қосқанда, барынша азайтуға ұмтылуына мәжбүр жағдайға алып келеді. Бұл объективті түрде іс-шараларды мақсатты әзірлеу қағидаларын белгілеуді, жарақаттану мен сырқаттанушылықтың алдын алу жөніндегі шығыстарды әрбір жеке субъектіге қатысты бақылау қажеттілігін көздейді.

Альтернативтік нұсқа ретінде өндірістік қауіп-қатерге қарсы денсаулық сақтау үшін алдын алу шараларын қабылдау керісінше әдептілік болып есептеледі. Ал оған жұмыскерлердің зиянды және қауіпті жағдайларда жұмыс істеуден бас тартуға құқылылығы туралы шыншыл ақпарат жатады, оларға қатысты санкцияларға тыйым салынады. Бұл норма ХЕҰ-ның «Еңбек қауіпсіздігі және еңбекті қорғау және еңбек ортасы туралы» № 155 конвенциясында бекітілген және тиісінше біздің заңнамамызда қолданылады [10].

Жұмыс берушінің қызметі жұмыскерлердің денсаулығы мен еңбек қабілетін сақтауды көздейді және сақтандыру шығындары мен жұмыскерлерге өтемақыны төмендету жолымен өндірістің тиімділігін арттыруға бағытталған. Бұл ұйғарымдар үнемді көзқарас тұрғысынан шаралар таңдауға әсер етеді және де жеке жұмысшы үшін оңтайлы шараларды бүкіл кәсіпорын үшін тиімді шаралармен қалай теңестіруге болатыны жайлы көбінесе дилемма туындатады. Жұмыскерлерді қорғаныш құралдарымен, емдеу және денсаулықты нығайту жөніндегі қызметтермен қамтамасыз ету сақтандыру төлемдеріне бөлінетін қаражатты үнемдеу жолымен шығындарды азайтуға мүмкіндік береді. Оңалту шаралары мен сақтандыру төлемдерінің арасындағы тәуелді байланыс жұмыс беруші мен жұмыскерлердің өкілді органдары арасындағы тарифтік шарттарда белгіленуі мүмкін. Жұмыс орны бойынша денсаулық сақтау бағдарламаларын жасау арқылы жұмыс беруші зиянды өндірістік факторлардың әсерін өтеуге қатысуы мүмкін. Оларды жоспарлау және іске асыру ұстанымдары мемлекеттік деңгейде әзірленген. Іске асырылған бағдарламалардың көпшілігін бағалау олардың тиімділігі жоғары екендігін көрсетеді.

Батыс елдерінде тамақтану бағдарламалары біздің елімізде қабылданған емдік-профилактикалық тамақтанудың аналогы болып табылады, олар көбінесе жалпы денсаулық сақтау бағдарламаларының бір бөлігі болады. Тамақтану мәселелеріне байланысты ақпараттық материалдар парақшалар, жазбаша хаттар, плакаттар, бюллетеньдер және электрондық пошта хабарламалары түрінде жұмыскерлерге де, олардың отбасы мүшелеріне де таратылады. Отбасы мүшелерінің талғамдарын қалыптастыратын отбасы әйелдері болғандықтан, олар арнайы сабақтар мен семинарларға шақырылады. Осыған орай, тамақтану орындарында диетологтың ұсынымдарында көрсетілген тиісті тамақтардың жұмыскерлер үшін қол жетімді болуы маңызды. Көптеген жұмыс берушілер жұмыста тамақтану пункттерін ішінара немесе толық субсидиялайды.

Тәуекелді (қатерді) регламенттеудің тағы бір бағыты қатерлі ісікке шалдығуға соқтыратын қауіпті салаларды көрсету болып табылады. Болжамдарға сай, алдағы онжылдықта көптеген индустриялық елдерде қатерлі ісік аурулары өлім-жітімнің негізгі себебіне айналуы мүмкін. Жұмыс берушілермен канцерогендік заттарға шалдыққан қызметкерлерге толық медициналық тексеру жүргізіледі, олардың жұмысқа қабілетсіздік туындауы мен өлім себептеріне талдау жасалады. Зиянды факторлармен күресу жұмыс орнында әлеуетті канцерогендердің әсерін болдырмауды немесе мүмкіндігінше олардың әсерін азайтуды, сондай-ақ канцерогенді материалдарды нақты таңбалауды және осындай материалдарды пайдалану, сақтау және жою ережелеріне жұмысшыларды ұдайы оқытуды қамтиды.

Дамыған елдердегі қабылданған сақтандыру жүйелерінде өндірісте жарақат алған немесе кәсіптік ауруға шалдыққан жұмыскерлерге медициналық көмек көрсетіледі немесе ақшалай өтемақы төленеді. Алайда, әртүрлі мемлекеттерде қабылданған жүйелер арасында олардың бағыныштылығына, қолданылу аясына, сақтандыру жәрдемақыларын төлеу тәртібіне, жазатайым оқиғалардың алдын алуда мүдделілік дәрежесіне және техникалық қамтамасыз етуге қатысты айырмашылықтар орын алады. АҚШ әр штатының тәуелсіз сақтандыру жүйесі бар, және онда жеке сақтандыру компаниялары рөлдерінің маңызы зор. Францияда, керісінше, сақтандыру жүйесі толығымен мемлекетке бағынады және еңбекті қорғау мәселелерімен айналысатын әкімшілік органдар жүйесінің бөлігі болып табылады.

Германияда зиянды және (немесе) қауіпті еңбек жағдайларында еңбектену нәтижесінде денсаулыққа зиян келтіргені үшін кепілдіктер белгілеу сақтандыру институты аясында жүзеге асырылады. Өндірістегі жарақаттану мен кәсіптік аурушаңдыққа қатысты мәселелерді реттеу мен шешуді сақтандыру компаниялары кәсіптік одақтармен тығыз байланыста бола тұра, өздерінің мойындарына алады. Жазатайым оқиғалардан сақтандыру жүйесі – бұл заңмен белгіленген бес әлеуметтік сақтандыру саласының бірі. Бұл өз ережелері мен нормаларын қабылдауға, алдын-алу шараларын нақтылауға және қалыптастыруға құқығы бар жеткілікті тәуелсіз жүйе.

1970 жылы қабылданған АҚШ-тың өндірістік қауіпсіздік және денсаулық актісі (The US Occupational Safety and Health Act) жұмыс берушілер мен жұмысшылардың қауіпсіз және салауатты еңбек жағдайларына қол жеткізу ісінде дербес, бірақ өзара байланысты жауапкершіліктері мен құқықтарының болуын қарастырады. Соңғы онжылдықта АҚШ-та денсаулыққа қауіп дәрежесін бағалау (HRA) танымалдылыққа ие болды. Бұл жұмыскерлердің денсаулықтарын сақтаудың маңыздылығын түсінуіне және басшылықтың осы мақсатқа жетудегі іс-әрекеттердің қажеттілігін түсінуіне ықпалын тигізеді. Онымен «өмір сүру нормасы» деп аталатын халықтың белгілі санаты үшін бағдар ретінде оңтайлы өмір сүру ұзақтығы анықталады. Мұнда нақты адамның ерекшеліктерін ескеретін жеке ұстаным қолданылады. Мәселен, қалыпты қан қысымы және қандағы холестерин деңгейі төмен, жақсы генетикалық тарихы бар, физикалық жаттығулармен айналысатын және жұмыс орнында қауіпсіздік талаптарын орындайтын адам, белгілі бір жұмыс орнының қауіптілігіне қарамастан, тәуекел дәрежесінің жақсы бағасын ала алады. HRA жүргізу жауапкершілігі әдетте еңбекті қорғау бойынша жауапты басшыға жүктеледі. Қазіргі уақытта бұл мәселелермен жұмысшылар мен жұмыс берушілердің мүдделерін білдіретін қоғамдық ұйымдар немесе екі жақты еңбекті қорғау комитеттері көбірек айналысады. Осыған байланысты біз сонымен қатар еңбекті қорғау комитеттері («Еңбекті қорғау туралы» Беларусь Республикасы Заңының жобасына сәйкес ұсынылатын) институтына үлкен үміт артамыз.

Еңбекті қорғау жөніндегі іс-шараларды өткізу үшін соттар жұмыскердің пайдасына өтемақы тағайындаған жұмыскерлердің еңбекке қабілеттілігінен айырылу жағдайлары сөзсіз дәлел болып табылады. Егер жұмыскердің мерзімінен бұрын зейнетке шығуын оның еңбекке қабілеттілігін қолайсыз жағдайлардағы жұмысқа байланысты жоғалту салдары екеніне сот жұмыс берушіні жауапты деп тапқан болса да. Мұндай дәлел жұмыскерлерге келтірілген зиянның салдарынан ақшалай өтемақы төленген жағдайларға да қатысты. Егер жарақат пен сырқаттанудың жұмысқа қатыстылығын дәлелдеуге болатын болса, онда жұмыс берушілер заң бойынша медициналық көмек пен табыстың азаюына жауапты. Бұл көмек жүйесі ауыр жарақаттар мен ауруларға шалдыққан жұмысшыларға қатысты оңды, себебі бұл жерде еңбек жағдайларының рөлі айдан анық. Сондықтан да жұмыскер, сот органдарының көмегінсіз, өз орнына тезірек орала алуы үшін жұмыс беруші уақтылы және тиімді емдеуге мүдделі.

Айта кететін жай, бұрынғы КСРО мен Шығыс Еуропа елдері Еуропалық Одаққа кірген кезде,

зиянды және (немесе) қауіпті жағдайларда жұмыс істегені үшін өтемақы беруге қатысты құқықтық нормалар жойылады, өйткені олар қолданыстағы еңбекті қорғау идеологиясына қайшы келеді. Бұл, әдетте, кәсіподақтар тарапынан қандай да бір ауқымды акциялар мен шерулердің болуына апармайды. Ал бізде болса, сол бұрынғыдай зиянды жағдайда жұмыс істейтін адамның қосымша өтемақы алмауы мүмкін емес деп саналады. Біраз уақыт бұрын Ресей Федерациясының Вологда қаласындағы бірқатар кәсіпорындарда еуропалық еңбекті қорғау жүйелерін енгізу бойынша эксперимент жүргізілген болатын [11]. Онда жұмыс жағдайлары түбегейлі жақсарды, бірақ жұмысшылардың өтемақылары бәрібір сақталған.

Болашақ перспективалар. Қазіргі уақытта Беларусь Республикасында жазатайым оқиғалардан және кәсіптік аурулардан сақтандыру жүйесі аясында қолданылатын қағидаттарға зиянды және (немесе) қауіпті жағдайларда еңбектенгені үшін өтемақы жүйелеріне бағдарланған бағытқа байланысты еңбек саласындағы саралаудың негізгі критерийі кәсіптік тәуекелдер болып есептеледі.

Жұмыскердің осы жағдайда болуы оған нақты өндірістік жағдайларға тән кәсіби тәуекелдердің тұрақты әсер ету мүмкіндігін анықтайды. Сондықтан белгілі бір өндірістермен және технологиялық процестермен тығыз байланыста өтемақы жүйесін құру шынайы болып көрінеді.

Бұл жағдайда қаралып отырған өндірістік қызмет Беларусь Республикасы Еңбек және әлеуметтік қорғау министрлігінің 2006 жылғы 29 наурыздағы № 38 [11] қаулысымен (бұдан әрі – Тізбе) бекітілген «зиянды және (немесе) қауіпті жағдайлары бар жұмыс түрлері» тізбесімен регламенттелген жұмыстармен сәйкестендірілуі тиісті. Осы негіздемелік құжатқа толығырақ тоқталу керек.

Елде қолданылатын салаларды, экономикалық қызмет түрлерін, өндірістер мен жұмыс түрлерін жіктеу қағидаттары «Халық шаруашылығы салалары» жалпыодақтық жіктеуішінде (ХШСЖК) және болашақта ХШСЖК ауыстыруға тиіс «Экономикалық қызмет түрлері» (ЭҚЖК) Беларусь Республикасының жалпымемлекеттік жіктеуіштер Беларусь Республикасының техникалық-экономикалық және әлеуметтік ақпаратты жіктеу мен код беру бірыңғай жүйесінің (ТЭӘА БККЖ) құрамдас бөлігі болып табылады. ЭҚЖК әзірлеу Еуропалық одақтың экономикалық қызмет түрлерінің жіктеуішіне (ЕОҚК) негізделген.

Қазіргі уақытта ел экономикасының қолданыстағы статистикасы ХШСЖЖ негізделеді, өндірістегі жазатайым оқиғалардан және кәсіптік аурулардан әлеуметтік сақтандыру тарифтері де ХШСЖЖ бөлінісінде белгіленеді; Жұмыстар мен жұмысшы кәсіптерінің бірыңғай тарифтік-біліктілік анықтамалығы (БТБА) мен Басшылар, мамандар және өзге де қызметшілер лауазымдарының біліктілік анықтамалығының (БА) көптеген бөлігі де ХШСЖЖ ескере отырып қалыптастырылған.

Барлық белгілі жіктеуіштер, әдетте, қарапайым жүйеден күрделі жүйеге дейінгі мақсаттар мен нәтижелердің иерархиялық құрылымымен құрылады және сәйкесінше объектілердің белгілі бір жиынтығының ағаш діңгегі тәрізді құрылымы болып табылады. Бұл құрылымның жоғарғы жағында біртұтас жіктеу - тамыр түйіні (Тізімдегі түбір түйіні, мысалы, «02 Металл өңдеу өндірісі») болады. Ол осы классификацияның барлық объектілеріне қатысты. Түбірден төмен орналасқан түйіндер жіктелетін объектілердің жалпы жиынтығының ішкі жиындарына жататын барынша нақты жіктеулер болып табылады.

Әзірленген Тізімде әлемдік тәжірибеде қабылданған жіктеудің иерархиялық әдісі және код берудің сериялық-реттік әдісі қолданылады. Жіктеу тереңдігі 3 деңгейлі болады. Толық код ұзындығы 7 сандық ондықты қамтиды. Жіктеу деңгейіне байланысты жіктеу объектілерін код беру екі, төрт және жеті белгілермен жүзеге асырылады:

1-ші деңгей (бөлім) - кәсіптердің (мамандықтардың) біліктілік сипаттамаларын жалпылаудың салалық деңгейі – БТБА және БА шығарылымдарының атаулары негізінде тұжырым-

далған айдарлар болып табылады, белгілеу екі-цифрлық топтан тұрады (мысалы, «02 Металл өңдеу өндірісі»);

2-ші деңгей (топ) - кәсіптердің (мамандықтардың) біліктілік сипаттамаларын жалпылаудың өндірістік деңгейі - БТБА және БА шығарылымдары бөлімдерінің атаулары, топтың белгіленуі бөлімнің белгіленуінен және топ нөмірінен тұрады, яғни алдыңғы деңгейге қатысты тағы екі-цифрлық топпен толықтырылады (мысалы, «0201 Құю (металл) жұмыстары»);

3-ші деңгей (кіші топ) - зиянды және қауіпті еңбек жағдайлары бар жұмыс түрі, кіші топтың белгіленуі алдыңғы деңгейдің белгіленуінен және реті бойынша берілген нөмірді білдіретін үш-цифрлық топтан тұрады (мысалы, «0201001 Автоклавтарға қызмет көрсету»).

Кез-келген жіктеуіштің, классификацияның негізгі қағидасы - бір сыныпқа жатқызылған бірліктер әр түрлі топтар мен сыныптарға жатқызылған бірліктерге қарағанда бір-бірінен аз ерекшеленеді. Бұл жағдайда жиынтық бірлігі болып зиянды және (немесе) қауіпті еңбек жағдайлары бар жұмыс түрі табылады. Бірліктерді сыныпқа біріктіру жіктеудің негізі ретінде қызмет ететін белгілі бір жіктеу белгісі бойынша жүзеге асырылады. Тізімде жіктеудің негізгі тұғырнамасы болып еңбек жағдайлары белгілерінің салалық және өндірістік ортақтығы табылады. Зиянды және қауіпті еңбек жағдайлары бар жұмыс түрлерін бөлу БТБА және БА тиісті шығарылымдарына топтастырылған кәсіптердің біліктілік сипаттамаларын талдау негізінде жүргізілді. Осылайша, Беларусь Республикасы экономикасының барлық салаларының зиянды және (немесе) қауіпті жағдайлары бар өндірістердің барлық түрлері мен жұмыс түрлерін толық қамтуға мүмкіндік туды. Бұл - сапалық қасиет, сондықтан жіктеудің негізі бола алады.

Біздің экономикамызды жалпы әлемдік экономикалық жүйеге интеграциялау қажеттілігі еңбекті қорғау саласындағы қызметті ретке келтіру жөніндегі бірыңғай қағидаттарды ұстану қажеттігін талап етеді. Оның градиенті (белгілі шаманың ең жоғары өсім бағыты) өндірістегі жазатайым оқиғалардан және кәсіптік аурулардан әлеуметтік сақтандыру жүйесі аясында жұмыс беруші мен жұмыскердің еңбек жағдайларын жақсартуға қызығушылығын арттыру мен зиянды және қауіпті жағдайларда жұмыс істегені үшін өтемақы жүйесінен болашақта мүлдем бас тартуға мүмкіндік беретін жалпы тетіктерді біркелкі пайдалануға бағытталуы тиіс. Экономикалық дамыған елдерде қабылданған нормаларға жақындау кезең-кезеңімен жүргізілуі мүмкін. Өтемақы жүйесін реформалаудың бірінші кезеңі жоғарыда аталған Тізбенің қолданысқа енгізілуімен байланысты өткізілді.

Беларусь Республикасы Еңбек кодексінің 225-бабында көзделген еңбек жағдайлары бойынша өтемақы алуға құқығы бар жұмыскерлердің кәсіптері мен санаттарының тізбелері өтемақылардың барлық түрлері үшін әзірленбеген, ал қолданыстағылары (№1, № 2 Тізімдерді қоспағанда) бір-бірімен байланысты емес және өзгеріске ұшыраған нормативтік құқықтық құжаттар мен өндіріс жағдайларына сәйкестендірілмеген. Сондықтан, осы Тізімді енгізе отырып, кепілдіктер мен өтемақылардың бүкіл жүйесін ретке келтіру мүмкіндігі туындайды, бұл оны зиянды және (немесе) қауіпті жағдайларда жұмыс үшін өтемақының барлық түрлері белгіленуі ықтимал өндірістерді, жұмыс түрлерін жіктеуге арналған жүйе құраушы құжат ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Зиянды және (немесе) қауіпті еңбек жағдайлары бар салалардағы, өндірістердегі, жұмыс түрлеріндегі жүргізілетін жүйелеу жұмыстары осындай жағдайларда жұмыс үшін кепілдіктер мен өтемақылар беруде бірегей ұстанымды қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Екінші кезеңге деген қажеттілік өтемақылардың (компенсациялар) барлық жиынтығын ретке келтіруге ұмтылумен негізделеді. Қазіргі уақытта берілетін өтемақылар жұмыскермен осыған дейін оның қай түрінің алылғанына қарамастан берілуі мүмкін, бұл олардың орнын өтеу(компенсациялық) функциясын айшықтаудын орнына бұлыңғыр етеді. Сонымен қатар, барлық өтемақылар бір тізбекке қосылуы керек, мұнда компенсациялардың кейбіреулерін қолдану фактісі бұрын басқа қандай өтемақы-

лар берілгеніне байланысты болады. Ол үшін өтемақының әр түрі бойынша нормативтік шектеулер мен критерийлер әзірленіп, енгізілуі керек. Егер өндірістік ортаның параметрлері белгіленген критерийлерден асып кетсе, туындайтын жаңа тәуекелдерді өтеу негізгі өтемақыларды толықтыруға арналған кейбір өтемақылар түріндегі бонустарды қолдану арқылы жүзеге асырылады. Бұл кезеңде кейбір өтемақыларды өзгелеріне, соның ішінде ақшалай баламаға ауыстыру тетіктері ұсынылуы керек.

Еңбек жағдайлары бойынша жұмыс орындарын аттестаттау мұндағы өтемақылардың өздерін беру құқығын негіздеудің және оларды кешендеу көлемін белгілеудің бірден бір тетігі болып табылады. Дегенмен, қолданыстағы тәжірибе көрсеткендей, жұмыс орындарын аттестаттауды осылайша ұғыну оның негізгі - *еңбек жағдайларын жақсарту мақсатында өндірісті талдау* мән-мағынасын кемітеді. Оны өтемақылардың барлық түрлеріне қатысты қарау олардың шама-шарықсыз өсіп келе жатқан берілу көлемін шектеу үшін уақытша шара ретінде ғана қызмет ете алады.

Сондықтан, соңғы, *үшінші кезеңде* өндірістік тәуекелдерді алдын ала (превентивтік) өтеуден зиянды және (немесе) қауіпті еңбек жағдайларында жұмыс істейтін жұмыскерлердің әлеуметтік сақтандыру қағидаттарына сәйкес денсаулықтың нақты зақымдануын атаулы өтеуге көшу қажет. Еңбек зияндылығы мен қауіптілік дәрежесі сақтандыру тарифтерінің мөлшерін атаулы белгілеу кезінде барабар көрініс табуы тиіс.

Қорытынды. Жоғарыда айтылғандарды қорытындылай келе, өтемақы берудің заманауи ұстанымы зиянды және (немесе) қауіпті еңбек жағдайларының әсерін өтейтін барлық механизмдердің әрекеттесуін біріктіру және ортақ жүйеге байланыстыру болып табылатынын атап өткен жөн. Сондықтан Беларусь Республикасындағы мемлекеттік кепілдіктер мен өтемақылар жұмысшыларға зиянды және (немесе) қауіпті жағдайларда еңбектенгені үшін өтемақы беру профилактикалық сипатта емес, өз мақсатына өндірістік жарақаттану мен кәсіптік сырқаттанушылықты алдын ала болжайтын, анықтайтын, ескертетін сипатта болуы тиіс.

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 «Қазіргі контексте зиянды еңбек жағдайларында жұмыспен қамтылған адамдарға қатысты әлеуметтік кепілдіктердің мемлекеттік тетігін трансформациялау» (ЖТН BR 22182673) тақырып бойынша ғылыми-техникалық бағдарламаны іске асыру барысында алынған ғылыми зерттеулердің нәтижелері ұсынылған.

Әдебиеттер

1. Конституция Республики Беларусь 1994 года Беларусь (с изменениями и дополнениями, принятыми на республиканских референдумах 24 ноября 1996 г., 17 октября 2004 г. и 27 февраля 2022 г. - 2022.

2. Трудовой кодекс Республики Беларусь: принят Палатой представителей 26 июля 1999 г., № 296 - З (с изменениями и дополнениями по состоянию на 01.01.2025 г.): одобр. Советом Республики 30 июня 1999 г. -1999.

3. Указ Президента Республики Беларусь «О страховой деятельности» от 25 августа 2006 г. № 530 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь (НРПА РБ). -2006. -№ 143,1/7866.

4. Закон Республики Беларусь «О внесении изменений и дополнений в Трудовой кодекс Республики Беларусь» от 20 июля 2007 г. №272-З // Звезда. - 2007.

5. Закон Республики Беларусь «О пенсионном обеспечении» от 17 апреля 1992 г. № 1596 – XII // Ведомости Верховного Совета Республики Беларусь. -1992. -№ 17. -С.275.

6. Список производств, работ, профессий, должностей и показателей на подземных работах, на работах с особо тяжелыми условиями труда, занятость которых дает право на пенсию по возрасту и за работу с особыми условиями труда (Список № 1), Список производств, работ, профессий, должностей и показателей на работах с вредными и тяжелыми условиями труда, занятость которых дает право на пенсию по возрасту и за работу с особыми условиями труда (Список № 2): утверждены Советом Министров Республики Беларусь от 25 мая 2005 г. № 536 // НРПА РБ. -2005. - № 87, 5/ 16012.

7. Инструкция о порядке применения Единой тарифной сетки работников Республики Беларусь: утверждена постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 20 сентября 2002 г. № 123 (действует в ред. постановления Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 22 декабря 2006 г. № 162 // НРПА РБ. -2007. - № 43, 8/15743.

8. Постановление Советом Министров Республики Беларусь «О бесплатном обеспечении работников молоком или равноценными пищевыми продуктами при работе с вредными веществами» от 27 февраля 2002 г. № 260 // НРПА РБ. -2002. -№ 29, 5/10048.

9. Перечень вредных веществ, при работе с которыми в профилактических целях показано употребление молока или равноценных пищевых продуктов: утвержден постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь и Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 19 марта 2002 г. № 34/12 // НРПА РБ. -2002. -№43, 8/7942.

10. Закон Республики Беларусь «О ратификации Конвенции 155 «О безопасности и гигиене труда и производственной среде» Международной организации труда» от 5 мая 1999 г. // НРПА РБ. -1999. -36, 2/28.

11. Волошина Т.Н., Грицкевич И.И., Кляуззе В.П. Предоставление доплат за работу во вредных и опасных условиях. / Минск: НИИ труда. -2006. ISBN 985-6793-06-8.

References

1. Konstitucija Respubliki Belarus’ 1994 goda Belarus’ (s izmenenijami i dopolnenijami, prinjatymi na respublikanskih referendumah 24 nojabrja 1996 g., 17 oktjabrja 2004 g. i 27 fevralja 2022 g.. - 2022. [in Russian].

2. Trudovoj kodeks Respubliki Belarus’: prinjat Palatoj predstavitelej 26 ijulja 1999 g., №296 – 3 (s izmenenijami i dopolnenijami po sostojaniju na 01.01.2025 g.): odobr. Sovetom Respubliki 30 ijunja 1999 g. -1999. [in Russian].

3. Ukaz Prezidenta Respubliki Belarus’ «O strahovoj dejatel’ nosti» ot 25 avgusta 2006 g. № 530 // Nacional’ nyj reestr pravovyh aktov Respubliki Belarus’ (NRPA RB). -2006. -№ 143,1/7866. [in Russian].

4. Zakon Respubliki Belarus’ «O vnesenii izmenenij i dopolnenij v Trudovoj kodeks Respubliki Belarus’» ot 20 ijulja 2007 g. №272-Z // Zvezda. - 2007. [in Russian].

5. Zakon Respubliki Belarus’ «O pensionnom obespechenii» ot 17 aprelja 1992 g. № 1596 – XII // Vedomosti Verhovnogo Soveta Respubliki Belarus’. - 1992. - № 17. – S.275. [in Russian].

6. Spisok proizvodstv, rabot, professij, dolzhnostej i pokazatelej na podzemnyh rabotah, na rabotah s osobo tjazhelymi uslovijami truda, zanjatost’ kotoryh daet pravo na pensiju po vozrastu i za rabotu s osobymi uslovijami truda (Spisok № 1), Spisok proizvodstv, rabot, professij, dolzhnostej i pokazatelej na rabotah s vrednymi i tjazhelymi uslovijami truda, zanjatost’ kotoryh daet pravo na pensiju po vozrastu i za rabotu s osobymi uslovijami truda (Spisok № 2): utverzhdeny Sovetom Ministrov Respubliki Belarus’ ot 25 maja 2005 g. № 536 // NRPA RB. – 2005. - № 87, 5/ 16012. [in Russian].

7. Instrukcija o porjadke primenenija Edinoj tarifnoj setki rabotnikov Respubliki Belarus': utverzhdena postanovleniem Ministerstva truda i social' noj zashhity Respubliki Belarus' ot 20 sentjabrja 2002 g. № 123 (dejstvuet v red. postanovlenija Ministerstva truda i social' noj zashhity Respubliki Belarus' ot 22 dekabrja 2006 g. № 162 // NRPA RB. – 2007. - № 43, 8/15743. [in Russian].

8. Postanovlenie Sovetom Ministrov Respubliki Belarus' «O besplatnom obespechenii rabotnikov molokom ili ravnocennymi pishhevymi produktami pri rabote s vrednymi veshhestvami» ot 27 fevralja 2002 g. № 260 // NRPA RB. – 2002. - № 29, 5/10048. [in Russian].

9. Perechen' vrednyh veshhestv, pri rabote s kotorymi v profilakticheskih celjah pokazano upotreblenie moloka ili ravnocennyh pishhevyh produktov: utverzhden postanovleniem Ministerstva truda i social' noj zashhity Respubliki Belarus' i Ministerstva zdravoohranenija Respubliki Belarus' ot 19 marta 2002 g. № 34/12 // NRPA RB. - 2002. - №43, 8/7942. [in Russian].

10. Zakon Respubliki Belarus' «O ratifikacii Konvencii 155 «O bezopasnosti i gigiene truda i proizvodstvennoj srede» Mezhdunarodnoj organizacii truda» ot 5 maja 1999 g. // NRPA RB. - 1999. - 36, 2/28.[in Russian].

11. Voloshina T.N., Grickevich I.I., Kljauzze V.P. Predostavlenie doplat za rabotu vo vrednyh i opasnyh uslovijah. / Minsk: NII truda. - 2006. ISBN 985-6793-06-8. [in Russian].

Авторлар туралы мәліметтер

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;

Бекмағамбетов Ә.Б. - заң ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ РМК (ҚР ЕХӘҚМ РҒЗИ), Астана, Қазақстан, e-mail: Adilet1979@mail.ru;

Рахметова А.М. - медицина ғылымдарының кандидаты, доцент, биомониторинг және еңбек гигиенасы бөлімінің басшысы, «Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық 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;

Абжаппарова А.О. - экономика ғылымдарының магистрі, «Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ РМК, Астана, Қазақстан, e-mail: ms.aybope@mail.ru;

Әбдрахманова Н.Б. - тіршілік қауіпсіздігі және қоршаған ортаны қорғау ғылымдарының магистрі, «Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ РМК, Астана, Қазақстан, e-mail: nazgul122@mail.ru;

Сагиндикова Н.Т. - техника және технология ғылымдарының магистрі, «Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ РМК, Астана, Қазақстан, e-mail: nursag79@mail.ru.

Information about the authors

Aktayeva L.M. - Doctor of Medical Sciences, The Republican Scientific Research Institute of Occupational Safety and Healt, RNIIOT of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan Astana, Kazakhstan, e-mail: rniiot@ rniiot.kz;

Bekmagambetov A.B. - higher law degree, candidate of legal sciences, Associate Professor, RRIOSH of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: Adilet1979@mail.ru;

Rakhmetova A.M. - Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, RRIOSH of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: ra_anar@mail.ru;

Kulmagambetova E. A. -Ph.D., RRIOSH of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: elya_kulmagambet@mail.ru;

Abzhapparova A. - m.sc. in economics, RRIOSH of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: ms.aybope@mail.ru;

Abdrakhmanova N.B.- Master’ s Degree in Life Safety and Environmental Protection, the Research Institute of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: nazgul122@mail.ru;

Sagindikova N. T. - Master of Engineering and Technology, the Research Institute of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: nursag79@mail.ru.

ҒТАМР 52.47.17 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1268**

АНИЗОТРОПИЯ МЕН ҚАБАТТЫҢ ДЕФОРМАЦИЯЛАНУЫ ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ КӨЛДЕНЕҢ ҰҢҒЫМАНЫҢ ДЕБИТІ

М.Д. Бисенгалиев, Ж.К. Зайдемова, Ж.Б. Шаяхметова, А.С. Каримова, Г.Е. Имангалиева, Ж.У. Икласова

С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Қазахстан

Корреспондент-автор: maks_bisengali@mail.ru

Мақалада деформацияланатын коллекторы бар шекті изотропты айналмалы қабатта орналасқан көлденең ұңғымаға стационарлық ағынның аналитикалық және сандық талдауы ұсынылған. Өткізгіштіктің өзгеруіне жыныстардың деформация әсерін ескеретін модель жасалды, бұл ұңғыма ағынының дебитін нақтырақ бағалауға мүмкіндік берді Көлденең ұңғыма оқпанының ұзындығының, оның шатыр мен түбіне қатысты орналасуының, қабат қалыңдығың, сондай-ақ ұңғымалар батареясының жұмысындағы интерференцияның әсері зерттелді.

Оқпан ұзындығының қабат қалыңдығына белгілі бір қатынасы кезінде көлденең ұңғымаға ағын тік көрсеткіштерден асып түсетіні анықталды. Оңтайлы әдіс – бұл ағынға кедергі минималды болатын қабаттың симметриялы ашылуы.

Жыныстардың түріне байланысты коллектордың деформациялануы дебитті 21,6%-ға дейін төмендете алатыны көрсетілген. Алынған тәуелділіктер мен графоталдау арақатынастары көлденең ұңғымалардың жобалық параметрлерін оңтайландыру және пайдаланудың әртүрлі кезеңдерінде кен орындарын игеруге техникалық-экономикалық бағалау жүргізу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: көлденең ұңғыма, деформацияланатын коллектор, сұйықтық ағыны, өткізгіштік, гидродинамикалық модель, интерференция, параметрлерді оңтайландыру.

ДЕБИТ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ С УЧЁТОМ АНИЗОТРОПИИ И ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ПЛАСТА

М.Д. Бисенгалиев, Ж.К. Зайдемова, Ж.Б. Шаяхметова, А.С. Каримова, Г.Е. Имангалиева, Ж.У. Икласова

Атырауский университет нефти и газа им. Сафи Утебаева, Атырау, Казахстан, e-mail: maks_bisengali@mail.ru

В статье представлен аналитический и численный анализ стационарного притока к горизонтальной скважине, расположенной в конечном изотропном круговом пласте с деформируемым коллектором. Разработана модель, учитывающая влияние деформации породы на изменение проницаемости, что позволило получить более реалистичные оценки дебита скважин. Исследовано влияние длины горизонтального ствола, его положения относительно кровли и подошвы, мощности пласта, а также интерференции при работе батареи скважин.У становлено, что при определённом соотношении длины ствола к мощности пласта приток к горизонтальной скважине превышает показатели вертикальной. Оптимальным является симметричное вскрытие пласта, при котором сопротивление притоку минимально.

Показано, что деформируемость коллектора способна снижать дебит до 21,6% в зависимости от типа породы. Полученные зависимости и графоаналитические соотношения могут использоваться для технико-экономической оценки и оптимизации параметров горизонтальных скважин при проектировании и эксплуатации месторождений нефти и газа.

Ключевые слова: горизонтальная скважина, деформируемый коллектор, приток флюида, проницаемость, гидродинамическая модель, интерференция, оптимизация параметров.

FLOW RATE OF A HORIZONTAL WELL TAKING INTO ACCOUNT ANISOTROPY AND DEFORMABILITY OF THE FORMATION

M.D. Bissengaliyev, Zh.K. Zaidemova, Zh.B. Shayakhmetova, A.S. Karimova, G.T. Imangalieva, Zh.U. Iklassova

Safi Utebaev Atyrau University of Oil and Gas, Atyrau, Kazakhstan,
e-mail: maks_bisengali@mail.ru

The article presents an analytical and numerical analysis of steady-state inflow to a horizontal well located in a finite isotropic circular formation with a deformable reservoir. A model has been developed that takes into account the effect of rock deformation on permeability changes, which has made it possible to obtain more realistic estimates of well flow rates. The influence of the length of the horizontal wellbore, its position relative to the roof and floor, the thickness of the formation, and interference during the operation of a well battery are investigated.

It has been established that at a certain ratio of the length of the wellbore to the thickness of the formation, the inflow to a horizontal well exceeds that of a vertical well. Symmetrical opening of the formation is optimal, as it minimizes resistance to inflow.

It has been shown that the deformability of the reservoir can reduce the flow rate by up to 21.6%, depending on the type of rock. The obtained dependencies and graphical-analytical ratios can be used for technical and economic evaluation and optimization of horizontal well parameters in the design and operation of oil and gas fields.

Keywords: horizontal well, deformable reservoir, fluid inflow, permeability, hydrodynamic model, interference, parameter optimization.

Кіріспе. Әлемдік ғылыми басылымдарда көлденең ұңғымалардың өнімділігін анықтауға арналған формулалар белгілі, олар [1- 4] және т.б. еңбектерде ұсынылған. Бұл формулалардың барлығы сұйықтықты сүзудің тұрақты режимі үшін жазық есептерді шешуде және қабаттың деформациялануын есепке алмай, тігінен ($к_z$) және көлденеңінен ($к_r$) өткізгіштік теңдігі жағдайында шығарылды. Көптеген зерттеушілер [5-9] қабат бойындағы бойлық ұңғымаларға қолданған кезде қабаттың анизотропиясын ескеру міндетті деп санайды.

Біртекті анизотропты қабаттар жағдайлары үшін белгілі ағын формулаларының модификацияларын қабаттың тиімді өткізгіштік коэффициентін енгізу арқылы алуға болады $k_{эф} = \sqrt{k_z \cdot k_r}$ [5,7,8].

Дөңгелек біртекті анизотропты деформацияланатын қабатта көлденең ұңғымаға ағынды анықтау кезінде, анизотропия мен қабаттың деформациялануы көлденең ұңғыма ағынына жеке және біріктірілген әсерінің сандық бағасы беріледі.

Егер k_r^0 және k_z^0 - бастапқы қабат қысымындағы қабаттың өткізгіштігінің мәндері радиалды және тік бағытта болса, және қысымға байланысты өткізгіштіктің өзгеру заңы әрбір координата үшін бірдей болса, біз мынаны аламыз:

$$Q_r = \frac{2\pi\rho h k^0}{\mu} \cdot \frac{\left\{ a(P_k - P_c)\left[1 - \frac{\beta}{2}(P_k - P_c)\right]\right\}\overline{k_r^0}}{ln\frac{3.1422R_k}{l} + \frac{h}{l\sqrt{\chi}} ln\left(\frac{h}{2\pi R_c\sqrt{\chi}} \cdot \frac{1}{\sin\frac{\pi z_0}{h}}\right)} \quad (1)$$

мұндағы, $\overline{k_r^0} = \frac{k_r^0}{k_0}$; $\chi = \frac{k_z^0}{k_r^0}$; $k^0 = 10^{-12}м^2$ - өткізгіштік, бұл k_z және k_r қатынасының ұңғымаға түсетін суға әсерін өлшемсіз бағалауға мүмкіндік береді; ρ және μ - сұйықтықтың ты-

ғыздығы мен тұтқырлығы; R_k және R_c - қабат пен ұңғыма контурының радиустары; P_k және P_c - қабат контурындағы және ұңғыма түбіндегі қысым функциясының мәндері; h - қабат қалыңдығы; l - көлденең оқпанның ұзындығы; k_0 - қабаттың контурындағы қысым P_k кезіндегі өткізгіштік; z_0 - ұңғыма оқпанынан қабаттың түбіне дейінгі қашықтық; α және β - жұмыстан белгілі қабат жыныстарының деформациясы процесінде өткізгіштіктің өзгеруін сипаттайтын коэффициенттер [5].

Материалдар мен әдістер. Қабат жыныстарының анизотропиясы мен деформациялануының ағынға әсерін бағалау үшін (1) формула бойынша есептеулер орташа және нашар сұрыпталған құмтастардан, жұқа және ұсақ түйіршікті, далалық шпатты мен кварцты (кварц 25-60%) алевриттермен, орташа кеуекті (10-20%) саз мөлшері 20-35% болатын, қалыңдығы 7,5 м және 60 м болатын қабаттардағы көлденең оқпанның ұзындығы 3000 м дейін болатын ұңғымалар үшін жүргізілді, бұл үшін $\alpha = 0,958899$ и $\beta = 0,0096465$.

Есептеу нәтижелерін талдау қабаттың өткізгіштік анизотропиясы көлденең ұңғымалардың өнімділігіне теріс және оң әсер етуі мүмкін екенін көрсетеді.

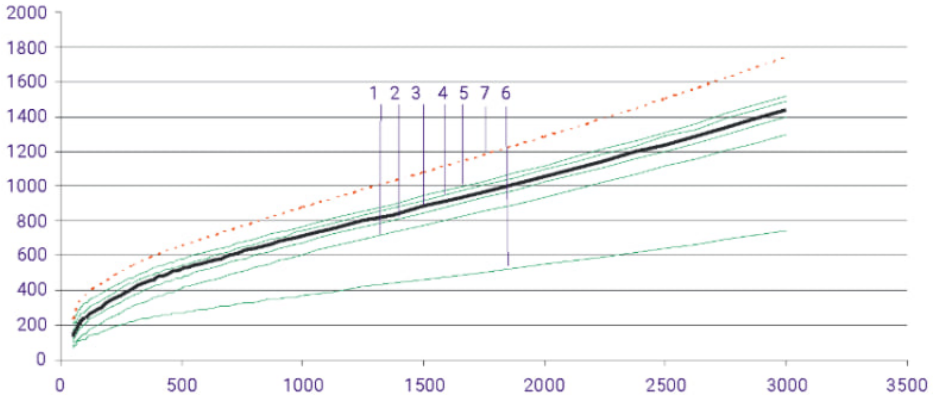
Изотропты қабаттың өткізгіштігіне тең көлденең өткізгіштігі k_r бар қабатта көлденең ұңғыманың дебиті $k_z > k_r$ кезінде біртекті қабатта бірдей ұңғыманың дебитінен үлкен және $k_z > k_r$ кезінде аз болады (1-кесте: қабаттың қуаты $h = 7,5$ м және 1-суреттегі 1-5 қисықтар $h = 60$ м кезінде).

Кез келген қалыңдықтағы қабаттарда анизотропияның ұңғыма өнімділігіне әсері бірдей заңдылыққа бағынады және тік және көлденең өткізгіштіктердің арақатынасына қарамастан, көлденең ұңғыма оқпанының ұзындығының артуымен азаяды (2-сурет).

Алайда, анизотропияның ағынға әсер ету дәрежесі қабаттың қалыңдығына айтарлықтай байланысты. Жұқа қабаттарда бұл әсер соншалықты маңызды емес, сондықтан оны іс жүзінде ескермеу мүмкін. Осылайша, қалыңдығы 7,5 м болатын қабатта, есептеулер үшін қабылданған шарттарда, 0,2-ден 5-ке дейінгі диапазонда, көлденең оқпан ұзындығы 50 м болатын ұңғыманың дебиті изотропты қабаттағы ұқсас ұңғыманың дебитімен салыстырғанда тек 1,49-4,86%-ға өзгереді, ал көлденең оқпан ұзындығы 3000 м-ге дейін ұлғаюымен ол одан да көп 0,04-0,38% мәніне дейін төмендейді (1 және 1а қисықтары).

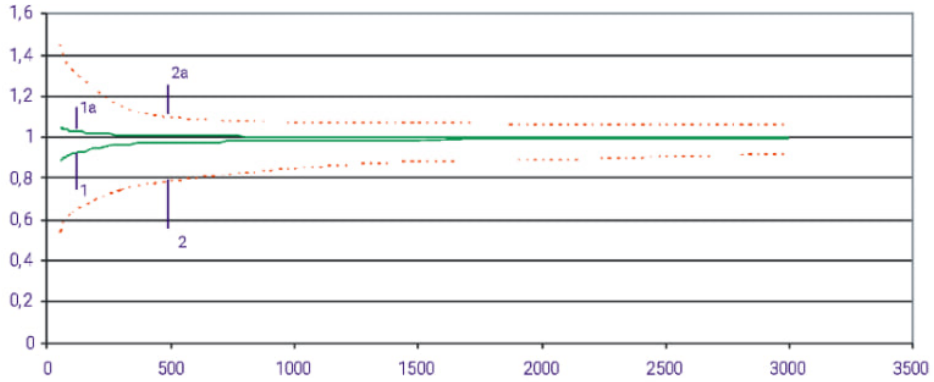
1-кесте. Қалыңдығы h=7,5 м болатын қабаттағы тік өткізгіштіктің көлденең ұңғымаға қатынасының әртүрлі мәндері кезінде көлденең оқпанның ұзындығына байланысты ұңғыма өнімділігінің өзгеруі

Ұңғымаоқпаны ұзындығы, l, м $\chi = \frac{k_{z_0}}{k_{r_0}}$	0,2	0,5	1,0	2,0	5,0
50	35,35	38,39	39,94	40,87	41,88
100	43,95	46,26	47,37	48,11	48,7
300	61,73	63,19	63,86	64,22	64,67
500	73,37	74,8	75,37	75,7	76,04
1000	97,52	98,96	99,09	99,31	99,66
1500	119,57	120,68	121,14	121,37	121,71
2000	142,06	143,19	143,71	144,06	144,31
2500	166,14	167,38	167,95	167,31	168,6
3000	192,7	194,09	194,72	195,12	195,46



1 - сурет. Ұңғыманың өнімділігі көлденең оқпан ұзындығының функциясы ретінде әртүрлі тік өткізгіштік мәндерінде:

1-5 – сәйкесінше χ=0.2; 0.5; 1,0; 2.0; 5,0 и h=60 м; 6 – χ=2; h=60 м; 7 – χ=5; h=60 м; жыныстардың деформациясын ескермегенде



2-сурет. Анизотропты және изотропты қабаттардағы дебиттердің көлденең ұңғыма оқпанының ұзындығына қатынасы:

1; 2 – χ=0.2; 1a; 2a – χ=5; ----- қабат қалыңдығы h=60 м; h=7.5 м

Үлкен қалыңдықтағы қабаттарда, әсіресе көлденең оқпанның ұзындығының аз мәндерінде ұңғыманың өнімділігі анизотропияға тәуелді, сондықтан оның әсерін елемеуге болмайды. Қабат қалыңдығы 60 м және көлденең оқпанның ұзындығы 50 м болғанда, ұңғыма өнімділігі χ мәнге байланысты 45,0-47,0%-ға өзгереді. Көлденең ұңғыма оқпанының ұзындығы 3000 м-ге дейін ұлғаюымен бұл өзгеріс 4,35–7,30%-ға дейін төмендейді, абсолютті мәнде ұңғыма ағынының дебиті өзгеруі үлкен болады (2 және 2а қисықтары).

Тік өткізгіштігі төмен қабаттардағы көлденең ұңғыманың дебитінің төмендеуі көлденең оқпан ұзындығының ұлғаюына байланысты болуы мүмкін. Осылайша, қалыңдығы бірдей 60 м және $\chi = 0,2$ болатын біртекті және анизотропты қабаттардағы ұңғымалардың дебиті, егер анизотропты қабаттағы көлденең ұңғыма оқпаны изотропты қабаттағы ұзындығы 1500 м ұңғымадан 340 м ұзын болса, тең болады.

Сондай-ақ, гидравликалық жаруды қолдана отырып, ұңғыма оқпанына перпендикуляр жарықтар жасау арқылы тік өткізгіштігі төмен қабаттардағы көлденең ұңғымалардың дебитін арттыруға болады.

Сондай-ақ, біз қарастырған ұңғыма оқпанының дөңгелек қабатта орналасу сұлбасында көлденең өткізгіштіктің төмендеуі көлденең ұңғыманың өнімділігіне тік өткізгіштіктің ұқсас өзге-

руіне қарағанда әлдеқайда көп әсер ететінін атап өткен жөн. Біркелкі қабаттағы ұңғыманың өнімділік кестесін сәйкестендіру арқылы бұған көз жеткізу оңай (1-суреттегі 3 қисық; $k_r = 150 \cdot 10^{-15} м^2$) анизотропты қабаттардағы ұқсас графиктермен $k_r = 150 \cdot 10^{-15} м^2$ және $\chi = 0,2$ (2 қисық) және $k_r = 75 \cdot 10^{-15} м^2$; $\chi = 2$; (6 қисық).

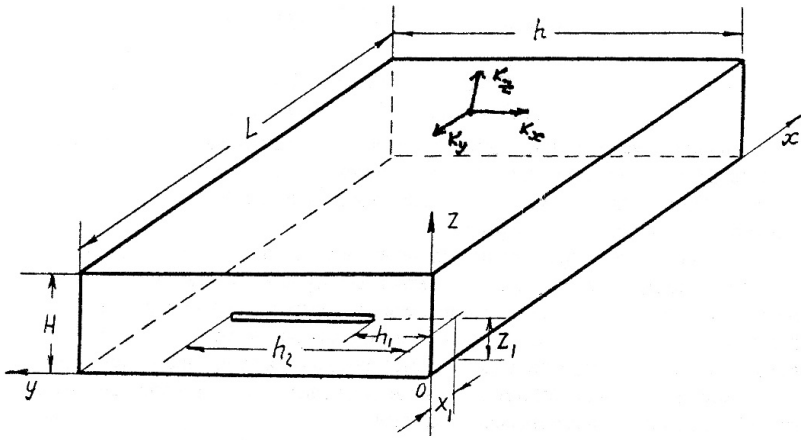
Жыныстардың деформациялануының көлденең ұңғыманың өнімділігіне әсерін бағалау үшін деформацияланбайтын жыныстармен қабаттарда бұрғыланған әртүрлі χ мәндері бар ұңғымалар үшін жоғарыда сипатталғандарға ұқсас есептеулер жүргізілді. Алынған нәтижелерді 1-суретте көрсету үшін (7-қисық) қалыңдығы 60 м, $k_r = 150 \cdot 10^{-15} м^2$ және $\chi = 5$ деформацияланбайтын қабаттағы ұңғымаға тәуелділік $Q_г = f(l)$ салынған. Ұқсас деформацияланатын қабат үшін 7-қисықты 5-қисықпен салыстыру көлденең ұңғымалардың өнімділігін есептеу қабаттың жыныстарының деформациялануын ескермей, жоғары нәтиже беретіндігін көрсетеді.

Ақырында, көлденең және жетілген тік ұңғымалардың дебиттері салыстырылды, олар ұқсас қабаттардың барлық қалыңдығын көрсетеді. Зерттеу барысында көлденең ұңғымалар үшін өнімділік коэффициенттерінің $\frac{Q_г}{Q_в}$ қатынасында кез-келген тік және көлденең өткізгіштік коэффициенттері жұқа қабаттарда әлдеқайда жоғары екендігі белгілі.

Қарапайым мысалда анизотропия тензорының осьтері координаталық X, Y және Z осьтерге сәйкес келеді делік (3-сурет). Сонда мәселе келесі теңдеуді шешу үшін:

$$K_x \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} K_y \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} K_z \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = \frac{Q_\Gamma \mu}{\overline{\eta} h} [\sigma(y - h_1) - \sigma(y - h_2)] \delta(x - x_1) \delta(z - z_1) \qquad (2)$$

мұндағы, K_x, K_y, K_z - X, Y және Z осьтер бағытына сәйкес өткізгіштік мәндері бастапқы қабаттық қысым кезінде; $\delta(\tau)$ - Дирак функциясы; $\sigma(\tau)$ - Хевисайдтың бірлік функциясы.



3-сурет. Көлденең сызықтық ағыны бар қабат элементі

Соңғы шегінде Фурье түрлендіру косинусын екі рет қолдану және өңдеу формулалары келесідей: Есепті шешу үшін ұсынылған алгоритмді қолдана отырып, кезіндегі сұйықтық ағынына $L = h = 200м$, $H = 10м$ қабат өткізгіштігінің анизотропия мәндерінің өзгеруінің әсерін анықтау үшін көптүрлі есептеулер жүргізілді. Тікбұрышты пішінді қабат элементіндегі көлденең ұңғыманың орналасуының әртүрлі нұсқалары үшін зерттеулер жүргізілді.

Нәтежелер жене талқылау. Біз әртүрлі факторлардың сүзу кедергілеріне әсер етуінің салыстырмалы тәуелділіктерін берілген параметр үшін ерікті кедергінің ең кішіге қатынасы түрінде ұсындық, бұл координатасы $z_1 = 0$ қабат элементіне көлденең ұңғыма сүзгісін орналастыру

кезіндегі фильтрация кедергісінің бірдей кедергіге қатынасын бейнелейді, бірақ сүзгінің шатырға және негізге қатысты симметриялы орналасуымен, яғни $z_1 = 0.5H$ кезінде, яғни, сүзгі $y = 0$ координатасынан басталғанда, сүзгінің ортасы қабат элементінің тік симметрия осіне сәйкес келген кезде сүзгіні симметриялы орналастыру. Бұл жағдайда нұсқалар үшін өткізгіштік коэффициенті келесідей болды: $Kz_1 : Kz_2 : Kz_3 : Kz_4 = 0.1 : 0.5 : 1 : 10$ Осылайша, қарастырылған нұсқалардың үшіншісі біртекті қабатты, біріншісі және екіншісі тік өткізгіштігі нашарлаған нұсқаларды, ал төртіншісі жақсартылған тік өткізгіштікті білдіреді. Көріп отырғанымыздай, қабатты түбінде ашу көлденең ұңғымаға сұйықтық ағынына сүзілу кедергісін айтарлықтай арттырады. Сүзілуге кедергінің абсолютті өсуі ашылу дәрежесіне және тік өткізгіштікке айтарлықтай байланысты. Қабаттың ашылу дәрежесі неғұрлым жоғары болса, сүзгінің тік жазықтықтағы орналасуы мен тік өткізгіштігінің әсері соғұрлым аз болады. Сонымен, қарастырылған нұсқалардағы $\overline{\eta} = 0.1$ және $\overline{\eta} = 1.0$ максималды айырмашылықтар сәйкесінше 60% және 18,5%-дан асты. Тік өткізгіштіктің әсері біртекті қабатпен салыстырғанда оңай орнатылады. Тігінен өткізгіштіктің нашарлауы әрқашан сүзу кедергісінің өсуіне оның біркелкі өсуіне қарағанда көбірек әсер ететіні анықталды.

Бұл симметриялы ашылу кезіндегі $z_1 = 0.5H$ кедергі минималды болуына және оның төмендеуі асимметриялық ашылу кезіндегі төмендеу жылдамдығынан асып түсуіне байланысты. Сонымен қатар, бірдей тәуелділіктер анықталды, бірақ өткізгіштіктің әртүрлі мәндері үшін. Бұл жағдайда нұсқалардың өткізгіштіктері K_x бірбірімен келесідей байланысты болды: $Kx_1 : Kx_2 : Kx_3 : Kx_4 = 0.5 : 1 : 2 : 10$. Зерттеу барысында қабаттың өткізгіштігінің нашарлауы және бұл жағдайда оның біркелкі өсуіне қарағанда айтарлықтай үлкен әсер етеді. Жалпы алғанда, бұл жағдайда бұрын қарастырылған нұсқаның сапалық сипаттамалары сақталады. Сонымен қатар, зерттелген көлденең ұңғымаға ағынға салыстырмалы кедергіге K_x сандық әсері K_z-ға қарағанда айтарлықтай төмен.

Жүргізілген жұмыс барысында көлденең ұңғымаға ағын кедергісі басқа тең жағдайларда біртекті қабаттың кедергісіне берілген кедергінің қатынасы K_z ретінде салыстырмалы түрде ұсынылатыны анықталды. Көріп отырғанымыздай, K_z әсер айтарлықтай және неғұрлым көп болса, қабаттың салыстырмалы соғұрлым ашылуы аз болады ($\overline{\eta}$). Қарастырылып отырған процеске қабат қимасындағы көлденең ұңғының орналасуы да z_1 айтарлықтай әсер етеді. Осылайша, қарастырылып отырған мысалдағы минималды ашылу $\overline{\eta} = 0.1$ және максималды анизотропия $\overline{K_z} = 0.1$ болғанда, X осі бойымен өткізгіштіктің нашарлауы $z_1 = 0$ болатын біртекті қабатпен салыстырғанда сүзілу кедергісін 93%-ға, ал $z_1 = 0.5H$ болатын қабатпен салыстырғанда 51%-ға арттырады. $\overline{\eta} = 0.5$ және сол алдыңғы анизотропия кезінде көлденең ұңғымаға сұйықтық ағынына кедергінің байқалған жоғарылауы сәйкесінше 47% және 20% құрады.

Берілген қисықтарды талдау X бойындағы анизотропияның сүзілу кедергісіне айтарлықтай әсерін көрсетеді. Сонымен, $\overline{K_z} = 0.1$ және $\overline{\eta} = 0.1$ кезінде сүзілу кедергісі жоғары болады: $\overline{K_z} = 0.1$, z_1=0 кезінде 68.7%-ға, $z_1 = 0.5H$ кезінде 60,5%-ға жоғары. Бұрынғыдай, өткізгіштіктің төмендеуінің зерттелетін мөлшеріне оның біркелкі өсуіне қарағанда біршама үлкен әсер бар. Бұл жағдайда әсер ашылу дәрежесіне де $\overline{\eta}$ тән.

Біріншісі $\overline{\eta} \leq 0.3$ аралығын қамтиды, мұндағы өзгеріс кедергінің күрт өзгеруіне әкеледі. Екінші бөлім $0.3 \leq \overline{\eta} \leq 0.5$ аралығын қамтиды, мұнда әсер айтарлықтай. Соңында, $\overline{\eta} > 0.5$ аралығында, ашылу X осі бойымен анизотропты өткізгіштігі бар қабаттағы көлденең ұңғымаға сұйықтық ағынының мөлшеріне аз әсер етеді.

Әрі қарай, жоғарыда қарастырылған процесс зерттеледі, бірақ ось бойымен өткізгіштігі анизотропты "Y" қабатта. Мұнда сүзу кедергісі салыстырмалы түрде, K_y кезіндегі кедергінің біртекті түзілімнің кедергісіне қатынасы ретінде беріледі ($K_y = 1$). Зерттеу барысында. бір сипатты жағдай, қабаттың толық ашылуымен, Z_1 қарамастан, K_y өзгергіштігінің әсері жоғалады. Жалпы, ізденіс кезінде деректерін салы-

стыра отырып, K_yқарастырылып отырған процеске әсері өткізгіштігі бойынша анизотропияның басқа түрлеріне қарағанда әлдеқайда аз екенін көруге болады. Жүргізілген зерттеулер барысында қабаттың оның бүйірлік шекараларына қатысты симметриялы ашылуы бар көлденең ұңғыманың жұмысына анизотропияның әсері зерттелді. Бұл мақалада сол тапсырма қарастырылады, бірақ қабаттың асимметриялық ашылуы үшін. Бұл зерттеуде асимметрияның шекті дәрежесін талданды, онда сүзгі ағынының басталуы координаттар жүйесінің басталуымен сәйкес келеді, яғни x=0x = 0x=0 координаты бар қабат элементінің бүйір беті. Алынған нәтижелерді симметриялы ашуға арналған есептеу деректерімен салыстыру симметриялы емес ашу кезінде анизотропияның фильтрация процесіне әсері симметриялық жағдайға қарағанда әлдеқайда күштірек көрінетінін көрсетті.

Жалпы, K_y әсері, бұрынғыдай, басқа екі бағыттағы анизотропияларға қарағанда аз.

Жүргізілген зерттеулер барысында қабаттың ашылуының симметрия дәрежесінің көлденең ұңғыма ағынының сүзілу кедергісіне әсері анықталды. Алынған тәуелділіктер симметриялық кедергіге асимметриялық ашу кезіндегі қарсылықтың қатынасы ретінде берілген. Осылайша, есептелген мәндердің әрқайсысы симметриялық жағдаймен салыстырғанда асимметриялық ашу кезінде көлденең ұңғымаға ағын гидродинамикалық кедергісінің жоғарылау дәрежесін көрсетеді. Жалпы алғанда, анизотропияның әртүрлі дәрежелерінде, сондай-ақ осы параметрлердің шекті мәндерінде қарастырылған шарттарда асимметриялық ашылу әсері +36%-дан -10% аралығында өзгерді. Оң мәндер көлденең көлденең ұңғыма оқпанының қабат шатырына қарай жылжыған кезде кедергі жоғарылауын сипаттайды, ал теріс мәндер түбіне қарай жылжу кезінде оның төмендеуін сипаттайды. Бұл ағынды желілерінің қайта бөлінуіне және қабаттың қабырғаларына жақын қысым градиентінің өзгеруіне байланысты, бұл дренаж аймағының пішініне және ұңғыманың тиімділігіне айтарлықтай әсер етеді.

Қорытынды: Анизотропты өткізгіштігі бар жолақ тәрізді қабатқа енген көлденең ұңғыманың өнімділігін сұйықтықты үш өлшемді сүзгілеу кезінде оның өту дәрежесін ескере отырып анықтау үшін есептеу әдісі ұсынылады. Көлденең ұңғыманың өнімділігі ашу дәрежесі мен симметриясына, сондай-ақ қабат өткізгіштігінің анизотропиясына айтарлықтай тәуелді екені анықталды. Ақырғы изотропты және анизотропты деформацияланатын қабаттағы горизонталь ұңғымаға ағынның әзірленген математикалық моделі сүзу процестерін неғұрлым дәл сипаттауды қамтамасыз ететін гидродинамикалық және геомеханикалық факторлардың өзара әсерін ескереді. Жыныстардың деформациялануы дебитке айтарлықтай әсер ететіні көрсетілген: коллектордың қысылуының жоғарылауымен ұңғыманың өнімділігі қабаттың қасиеттеріне байланысты 21,6%-ға дейін төмендеуі мүмкін. Көлденең ұңғыма оқпанының оңтайлы гидродинамикалық жағдайы - бұл ағынға кедергі ең аз және ең жоғары дебит қамтамасыз етілетін қабаттың симметриялы ашылуы. Анизотропия мен деформацияның бірлескен әсері дебиттің өткізгіштікке сызықтық емес тәуелділігіне әкеледі, бірақ ағынның негізгі сапалық заңдылықтары сақталады. Алынған аналитикалық тәуелділіктер мен графоталдау қатынастары көлденең ұңғымалардың жобалық параметрлерін оңтайландыру және пайдаланудың әртүрлі кезеңдерінде кен орындарын игеруге техникалық-экономикалық бағалау жүргізу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Әдебиеттер

1. Sun E., Yang W., Peng Q., Meng P., Mu S. The Productivity Model of Horizontal Well Considering Acidification Effect in Anisotropic Reservoirs//of Engineering and Technology.- 2020.-Vol.8(1).-P.19-32. DOI 10.4236/wjet.2020.81003.

2. Roland I Nwonodi. A novel model for predicting the productivity index of horizontal/vertical wells

based on Darcy’ s law, drainage radius, and flow convergence // Heliyon. -2024.-Vil.10(13): e25073. DOI 10.1016/j.heliyon.2024.e25073.

3. Xinyang Guo, Shiging Cheng, Wenpreng Bai, Dingning Cai, Zexuan Xu, Yang Wang Productivity Prediction of Multilateral Horizontal Wells in Low-Permeability Gas Reservoirs Under Two-Phase Flow Conditions // Available to Purchase. Paper presented at the 58th U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, Golden, Colorado, USA, June 2024. Paper Number: ARMA-P.0185. DOI 10.56952/ARMA-2024-0185.

4. Корепанов С.К. Прогнозирование размещения горизантальных и наклонно направленных скважин в зависимости от особенности геологического строения низкопрницаемого пласта ЮС-2// Недропользование. - 2024. - Т.24(4).- С.186-193. DOI 10.15593/2712-8008.2024.4.2.

5. Мухаметгалиев И.Д. Развитие технологий и технических средств бурения наклонно-направленных и горизонтальных скважин//Инфра-Инженерия. - 2024.-108 с. ISBN 978-5-9729-1737-2.

6. Wenqi Ke et al. A Transient Productivity Prediction Model for Horizontal Wells Coupled with Oil and Gas Two-Phase Seepage and Wellbore Flow//Processes.-2023.-Vol.11(7).-P.1-22. DOI 10.3390/pr11112012.

7. Попов И.П.,Томилов А.А, Казанцев Г.В., Инновационные технологии разработки нефтяных и газовых месторождений // Тюменский государственный нефтегазовый университет // Нефтепромысловое дело. - 2015. - №7. - С.19-22.

8. Li L., Xie M., Liu W., Dai J., Feng S., Luo D., Wang K., Gao Y., Huang R. A New Productivity Evaluation Method for Horizontal Wells in Offshore Low-Permeability Reservoir Based on Modified Theoretical Model//Processes. -2024.- Vol.12(12):2830. DOI 10.3390/pr12122830.

9. Шаяхметова Ж.Б., Бисенгалиев М.Д., Тулегенова О.Ш., Каримова А.С. Исследование стационарного притока к горизонтальной скважине в деформируемом коллекторе // Нефть и газ. - 2025. - № 3(147).- С.188-199.DOI: 10.37878/2708-0080/2025-3.19.

References

1. Sun E., Yang W., Peng Q., Meng P., Mu S. The Productivity Model of Horizontal Well Considering Acidification Effect in Anisotropic Reservoirs//of Engineering and Technology.- 2020.-Vol.8(1).-P.19-32. DOI 10.4236/wjet.2020.81003.

2. Roland I Nwonodi. A novel model for predicting the productivity index of horizontal/vertical wells based on Darcy’ s law, drainage radius, and flow convergence // Heliyon. -2024.-Vil.10(13): e25073. DOI 10.1016/j.heliyon.2024.e25073.

3. Xinyang Guo, Shiging Cheng, Wenpreng Bai, Dingning Cai, Zexuan Xu, Yang Wang Productivity Prediction of Multilateral Horizontal Wells in Low-Permeability Gas Reservoirs Under Two-Phase Flow Conditions // Available to Purchase. Paper presented at the 58th U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, Golden, Colorado, USA, June 2024.Paper Number: ARMA-P.0185. DOI 10.56952/ARMA-2024-0185.

4. Korepanov S.K. Prognozirovanie razmeshhenija gorizantal’ nyh i naklonno napravlennyh skvazhin v zavisimosti ot osobennosti geologicheskogo stroenija nizkoprnicaemogo plasta JuS-2// Nedropol’ zovanie. - 2024. - T.24(4).- S.186-193. DOI 10.15593/2712-8008.2024.4.2. [in Russian]

5. Muhametgaliev I.D. Razvitie tehnologij i tehnicheskih sredstv burenija naklonno-napravlennyh i gorizontal’ nyh skvazhin//Infra-Inzhenerija. - 2024.-108 s. ISBN 978-5-9729-1737-2. [in Russian]

6. Wenqi Ke et al. A Transient Productivity Prediction Model for Horizontal Wells Coupled with Oil and Gas Two-Phase Seepage and Wellbore Flow//Processes.-2023.-Vol.11(7).-P.1-22. DOI 10.3390/pr11112012.

7. Popov I.P., Tomilov A.A., Kazancev G.V., Innovacionnye tehnologii razrabotki neftjanyh i gazovyh mestorozhdenij // Tjumenskij gosudarstvennyj neftegazovyj universitet // Neftepromyslovoe delo. - 2015. - №7. - S.19-22. [in Russian]

8. Li L., Xie M., Liu W., Dai J., Feng S., Luo D., Wang K., Gao Y., Huang R. A New Productivity Evaluation Method for Horizontal Wells in Offshore Low-Permeability Reservoir Based on Modified Theoretical Model//Processes. -2024.- Vol.12(12):2830. DOI 10.3390/pr12122830.

9. Shajahmetova Zh.B., Bisengaliev M.D., Tulegenova O.Sh., Karimova A.S. Issledovanie stacionarnogo pritoka k gorizontal’ noj skvazhine v deformiruemom kollektore // Neft’ i gaz. - 2025. - № 3(147).- S.188-199.DOI: 10.37878/2708-0080/2025-3.19. [in Russian]

Авторлар туралы мәлметтер

Бисенгалиев М.Д. - техника ғылымының кандидаты, профессор, С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Казахстан, e-mail: maks_bisengali@mail.ru;

Зайдемова Ж.К. - кандидат технических наук, профессор, С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Казахстан, e-mail:b.n.m.99@list.ru;

Шаяхметова Ж.Б. - техника ғылымының кандидаты, қауымдастырылған профессор, С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Казахстан, e-mail: zhanar6688@mail.ru;

Каримова А.С. - техника ғылымының кандидаты, қауымдастырылған профессор, С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Казахстан, e-mail: akmaral0167@mail.ru;

Имангалиева Г.Е. - техника ғылымының кандидаты, қауымдастырылған профессор, С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Казахстан, e-mail: gulnar-imangalieva@mail.ru;

Икласова Ж. - техника ғылымының кандидаты, ассоциированный профессор, С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Казахстан, e-mail: janna_ua@mail.ru.

Information about the authors

Bissengaliyev M.D. - Ph., professor, S. Utebaev Atyrau University of Oil and Gas, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: maks_bisengali@mail.ru;

Zaidemova Zh.R. -Ph., Professor, S. Utebaev Atyrau University of Oil and Gas, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: b.n.m.99@list.ru;

Shayakhmetova Zh.B.- Ph., Associate Professor, S.Utebaev Atyrau University of Oil and Gas, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: zhanar6688@mail.ru;

Karimova A.S. - PhD, Associate Professor, S.Utebaev Atyrau University of Oil and Gas, e-mail: akmaral0167@mail.ru;

Imangalieva G.E.- Ph., Associate Professor, S.Utebaev Atyrau University of Oil and Gas, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: gulnar-imangalieva@mail.ru;

Iklassova Zh.U. - Ph. Sci, Associate Professor, S.Utebaev Atyrau University of Oil and Gas, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: janna_ua@mail.ru.

ҒТАМР 65.63.33 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-950**

АҚ ҚАЙЫҢ ҚАБЫҒЫНАН ТРИТЕРПЕНОИДТАРДЫ БӨЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

[1]С.А. Карденов, [2]С.Б. Байтукенова, [1]Ш.Б. Байтукенова, [1]Э.Ч. Базылханова, [1]Ж.С. Ажгереева

[1]С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан,
[2]Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан

Корреспондент-автор: Askerbekovsk@mail.ru

Өсімдік тектес заттар тағамдық қоспалар мен медицина саласында дәрі-дәрмектер ретінде кеңінен қолданылады. Ақ қайың қабығының химиялық құраммы, тритерпеноидтарды бөліп алу әдістері және олардың биологиялық белсенділігі бойынша зерттеулер жасалы. Қайың қабығынан тритерпеноидтарды бөліп алудың тиімді әдісі ұсынылды. Тритерпеноидтарды ультрадыбыстық белсендіру және экстракциялау басқа әдістермен салыстырғанда, экологиялық таза және тиімді әдіс болып табылды.

Отандық шикізаттың орасан зор қоры, қайың қабығынан алынған биологиялық белсенді заттардың зерттеу бойынша жүйелі жұмыстары аз болғандықтан экстрактивті заттар кешенінің қасиеттерін, олардың физика-химиялық сипаттамаларын зерттеуді жалғастыруға көп мүмкіндік береді. Тритерпеноидтар ағзаға ір түрлі пайдалы қасиеттері бар биологиялық белсенді органикалық қосылыстар. Тағамға биологиялық белсенді тритерпеноидтарды қосу өнімнің сапасын жақсартады, өнімдердің қышқылдылығын төмендетіп, олардың сақтау мерзімін ұзартады.

Қайың қабығынан алынған тритерпеноидтар сүтқышқылды өнімдердің сапасы мен пайдалы қасиеттерін жақсарта алатын функционалды ингредиент ретінде сүтқышқылды өнімдер өндірушілердің назарын аударуда. Алынған нәтижелерді қортындылай келе, қайың қабығынан бөлінген тритерпеноиды бар экстрактіге физика-химиялық талдау жасалды (сығындының балқу температурасы еру температурасы сығынды құрамындағы дәрумендер таниндер құрғақ заттар анықталды). Сығындының тазалығы құрамы ИҚ және УФ спектроскопиясы арқылы анықталды. Сығындының микробиолгиялық талдау жасалып, оның Staphylococcus aureus Bacillus subtilis Escherichia coli Pseudomonas aeruginosa Candida albicans Lactobacillus plantarum микроорганизімдеріне қарсы антимикробтық белсенділігі және олардың бактериялардың, вирустардың және саңырауқұлақтардың өсуін жоятыны немесе тоқтататаны анықталды.

Түйін сөздер: тритерпеноид, бетулин, мацерация, сүтқышқылды өнімдер, айран, қымыз.

ТЕХНОЛОГИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ТРИТЕРПЕНОИДОВ ИЗ БЕЛОЙ БЕРЕЗЫ

[1]С.А. Карденов, [2]С.Б. Байтукенова, [1]Ш.Б. Байтукенова, [1]Э.Ч. Базылханова, [1]Ж.С. Ажгереева

[1]НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина» Астана, Казахстан,
[2]АО «Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова» Астана, Казахстан,
e-mail:Askerbekovsk@mail.ru

Растительные вещества широко используются в качестве пищевых добавок и лекарственных средств в медицине. Проведены исследования химического состава коры белой березы, методов выделения тритерпеноидов и их биологической активности. Предложен эффективный метод выделения тритерпеноидов из коры березы. Установлено, что ультразвуковая активация и экстракция тритерпеноидов является экологически чистым и эффективным методом по сравнению с другими методами.

Огромные запасы отечественного сырья в сочетании с отсутствием системных работ по изучению биологически активных веществ, извлекаемых из березы, предоставляют широкие возможности для дальнейшего изучения свойств комплекса экстрактивных веществ и их физико-химических

характеристик. Тритерпеноиды — биологически активные органические соединения, обладающие разнообразными полезными свойствами для организма. Добавление в пищевые продукты биологически активных тритерпеноидов улучшает качество продукции, снижает кислотность продуктов и увеличивает сроки их хранения. Тритерпеноиды из березы привлекают внимание производителей кисломолочных продуктов как функциональный ингредиент, способный улучшить качество и полезные свойства кисломолочных продуктов.

Обобщая полученные результаты, был проведен физико-химический анализ экстракта, содержащего тритерпеноиды, выделенные из коры березы (определены температура плавления экстракта, температура растворения, содержание витаминов, дубильных веществ и сухих веществ в экстракте). Чистоту экстракта определяли методами ИК- и УФ-спектроскопии. Микробиологический анализ экстракта показал, что он обладает антимикробной активностью в отношении микроорганизмов Staphylococcus aureus, Bacillus subtilis, Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa, Candida albicans и Lactobacillus plantarum, а также убивает или подавляет рост бактерий, вирусов и грибков.

Ключевые слова: тритерпеноид, бетулин, мацерация, кисломолочные продукты, кефир, кумыс.

USE OF TRITERPENOIDS FROM WHITE BIRCH IN FERMENTED MILK PRODUCTS

[1]S.A. Kardenov, [2]S.B. Baitukenova, [1]Sh.B. Baitukenova, [1]E.Ch. Bazylkhanova, [1]Zh.S. Azhgereeva

[1]«Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin», Astana, Kazakhstan,
[2]«Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov», Astana Kazakhstan,
e-mail: Askerbekovsk@mail.ru

Plant substances are widely used as food additives and medicines in medicine. Studies have been conducted on the chemical composition of white birch bark, methods for isolating triterpenoids and their biological activity. An effective method for isolating triterpenoids from birch bark is proposed. It is established that ultrasonic activation and extraction of triterpenoids is an environmentally friendly and effective method compared to other methods.

Huge reserves of domestic raw materials, combined with the lack of systematic work on the study of biologically active substances extracted from birch, provide ample opportunities for further study of the properties of the complex of extractive substances and their physicochemical characteristics. Triterpenoids are biologically active organic compounds that have a variety of beneficial properties for the body. Birch triterpenoids are attracting the attention of dairy producers as a functional ingredient capable of improving the quality and beneficial properties of fermented milk products.

Summarizing the obtained results, a physicochemical analysis of the extract containing triterpenoids isolated from birch bark was carried out (the melting point of the extract, the dissolution temperature, the content of vitamins, tannins and dry substances in the extract were determined). The purity of the extract was determined by IR and UV spectroscopy. Microbiological analysis of the extract showed that it has antimicrobial activity against the microorganisms Staphylococcus aureus, Bacillus subtilis, Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa, Candida albicans and Lactobacillus plantarum, and also kills or inhibits the growth of bacteria, viruses and fungi.

Keywords: Triterpenoid, betulin, maceration, fermented milk products, kefir, kumiss.

Кіріспе. Қазіргі таңда амдамдардың денсаулығын сақтау және нығайту кез-келген өркениетті елдердің маңызды міндеті болып табылады. Елімізде соңғы жылдарда тамақ өндірісі саласында халықты пайдалы тағаммен қамтамсыз ету мақсатында функциональды ингредиенттермен байытылған жаңа өнімдерді дайындау қарқынды дамуда.Өнімдердің тағамдық құндылығы – ағзаның қоректік заттармен қанағаттандырылуы олардың энергетикалық құндылығымен, дәмдік қасиеттерімен және құрамымен айқындалатын дәрежесі болып табылады.

Осыған байланысты соңғы жылдары өсімдік шикізатынан биологиялық белсенді тағамды қоспаларды дайындау мен зерттеу жұмыстары ғалымдар арасында үлкен қызығушылық тудыруда.Солардың бірі ақ қайың қабығының құрамында кездесетін белсенді заттар.

Ғылыми зерттеу жұмысының өзектілігі: Қайың қабығынан тритерпеноидтарды бөлу технологиясын жетілдіру және оларды биологиялық белсенді компоненттер мен функционалды ингредиенттер ретінде пайдалануды ұсыну.

Ғылыми зерттеу жұмысының жаңалығы: Заманауи технологияларды қолдана отырып, ақ қайың қабығынан тритерпеноидтарды бөліп алудың оңтайлы параметрлерін құрастыру.

Ғылыми зерттеу жұмысының міндеттері:

- заманауи технологияларды пайдалана отырып, қайың қабығынан тритерпеноидтарды бөліп алу әдістерін жасау;

- тритерпеноидтарды сандық анықтау үшін заманауи аналитикалық әдістерді (ЖҚХ, ИҚ спектрофотометр) қолдану арқылы ақ қайың қабығына фитохимиялық зерттеу жүргізу;

- тритерпеноидтардың биологиялық белсенділігін зерттеу;

- тритерпеноидтардың антимикробтық белсенділігін зерттеу;

- тритерпеноидтардың антиоксидантық белсенділігін зерттеу;

- тритерпеноидтардың тағамның функционалдық қасиеттеріне әсерін зерттеу;

- қайыңнан тритерпеноидтарды бөліп алу мақсатында ультрадыбысты активацияның оңтайлы параметрлерін әзірлеу [1].

Материалдар мен әдістер. Өсімдік тектес шикізаттардың құрамында кездесетін антиоксиданттар майлы сүт өнімдерінің тотығу бұзылу процестерін басуға қабілетті. Табиғи антиоксиданттар табиғи метаболикалық агенттер ретінде дененің химиялық гомеостазын бұзбайды және иммундық жүйенің реакциясын тудырмайды. Дегенмен кейбір табиғи антиоксиданттарды қолдануда белгілі бір қиындықтар бар.

Олардың ерекшелігі – сығындылар өсімдіктің өзіне тән дәмі мен иіс қасиеттерін сақтайды, бұл дайын өнімнің органолептикалық көрсеткіштеріне теріс әсер етуі мүмкін. Осыған орай бүгінгі таңда оңтайлы антиоксиданттарды іздеу сүт өнеркәсібі үшін өзекті мәселе. Перспективалы табиғи антиоксиданттардың бірі - бетулин. Химиялық жағынан бұл лупан сериясының пентациклді тритерпенді спирті. Ол өнімдердің тотығуға төзімділігін арттырады, бір мезгілде ең күшті табиғи консервант, эмульгатор, антисептикалық және биостимулятор болып табылады [2].

Негізгі зерттеу нысаны реттінде ақ қайың қабығы алынды. Зерттеуде Қостанай өлкесінде өсетін Betula Pendula жаңа кесілген қайың қабығы пайдаланылды. Қайың қабығының ылғалдылығы 3,05%, Қайыңның қабығы қабынуға, вирусқа, бактерияға қарсы және адам денсаулығына басқа да пайдалы қасиеттері бар бетулин және оның туындылары сияқты тритерпеноидтардың құнды көзі болып табылады.

Нәтижелер және талқылау. Қайың әр түрлі салалар үшін бағалы шикізат болып табылады және оның барлық бөлшкетері – бұтақтары, бүршіктері, жапырақтары, қайың қабығы, шырындары әсіресе сыртқы қабығы кеңінен пайдаланылады [3].

Эксперименттік зерттеулер бетулин сүт ортасының ашытуын өзгертпейтінін, сүтте кездесетін аминқышқылдарымен әрекеттеспейтінін және жақсы тұрақтандырғыш бола отырып, сүт пен сүтқышқылды өнімдердің қауіпсіздігіне әсер ететін аминқышқылдарының тұрақтандырғыш қасиеттерін күшейтетінін көрсетті. Соңғысы термиялық өңдеуге ұшыраған сүт пен сүтқышқылды өнімдердің сақтау мерзімін ұзарту үшін де маңызды, өйткені сүт өнімдеріндегі сүт пен сүт фракциясының бөлінуіне әкелетін процестерге әсер ететін аминқышқылдарының тұрақтандырғыш қасиеттерінің төмендеуі олардың сақтау мерзімін қысқартады. Сүт өңдеу зауыттарында сүтті және сүт өнімдерін өңдеудің технологиялықпроцесінде бетулинді қолдану гомогенизация процесінің ұзақтығын қысқартуға мүмкіндік береді, осылайша нативті ксантиноксидазаның сүттің сулы фазасына түсу ықти-

малдығын азайтады. Бетулин иіссіз, сондықтан сүттің органолептикалық қасиеттерін өзгертпейді, оның өзіне тән иммуномодуляциялық, гастро және гепатопротекторлық қасиеттеріне байланысты оның тағамдық құндылығын арттырады. Қайың қабығы сығындысының сүт қышқылы микроорганизмдерінің дамуына әсері зерттелді [4].

Қайың ағаштарының кең таралғандығына байланысты бұл ағаштың қабығы өнеркәсіптік масштабта тритерпеноидтарды алу үшін қолжетімді шикізат болып табылады. Сонымен қатар, қайың қабығын пайдалану қоршаған ортаға зиян тигізбейді, өйткені оны өңдеу улы химиялық заттарды қолдануды қажететпейді. Көптеген зерттеулер қайың қабығынан алынған тритерпеноидтардың тиімділігі мен қауіпсіздігін растайды, бұл оны дәрілік заттар мен тағамдық қоспаларды өндіру үшін құнды шикізат етеді.

Зерттеуде келесі негізгі аналитикалық жабдықтар пайдаланылды:Тазартылған және кептірілген қайын қабығын ұнтақтау мақсатында зертханалық ұсақтағыш dr. Корнер, II моделы қолданылды.

Қайың қабығын активтендіру үшін Ningbo Lawson Smarttech компаниясы шығарған маркасы DH-3000F-370.Ультрадыбыстыдиспергатор қолданылды. Құрылғының корпусы тот баспайтын болаттан жасалған, бұл оның беріктігін және коррозияға төзімділігін қамтамасыз етеді. Құрылғының ішкі бөлігі ультрадыбыстық түрлендіргіш циркуляциялық сорғы мен өңдеу контейнерінен тұрады. DH-3000F-370 ультрадыбыстық толқындар әсерінен пайда болатын кавитация принципі бойынша жұмыс істейді [5].

Қайың қабығын экстракциялап тритерпеноидтарды бөліп алу мақсатында Сокслет аппараты қолданылды. Сокслет экстракторы үздіксіз еріткіш экстракция процесін пайдалана отырып, қатты шикізаттан нақты қосылыстарды бөліп алу үшін пайдаланылатын негізгі құрал болып табылады. Экстрактор штативтен, конденсатордан және колба мен құмды моншадан тұрады. Экстрагент іретінде келесі еріткіш спирттер пайдаланылды: этанол, ацетон, хлораформ метанол. Қабықтан бөлінген экстрактіні тазалап тек тритерпеноидтарды бөліп алу үшін бағанлы хроматография мен ЖҚХ әдісі қолданылды. Тритерпеноидтарды жұқа қабат хроматографиясы (ЖҚХ/ТСХ) арқылы сәйкестендіру үшін, PTSKH-AF-A алюминий субстратында Sorbfil маркалы пластиналарды қолдандық. Элюция жүйесі іретінде гексан қолданылды [6].

Ультрадыбыстық белсендендіруді пайдаланып, эксперименттер жасау әдісі оңтайландырылды. Ультрадыбыстық қуаты, өңдеу уақыты және экстракция температурасының параметрлері өзгертілді. Тритерпеноидтерді алу тиімділігі ең жоғары 150 Вт қуатта, 30 минут ультрадыбыстық өңдеу уақыты және 50 ^{0}С температурада жетті. Осы жағдайда шығым классикалық әдістермен салыстырғанда 35% дейін артты.

Тиртерпеноидты сандық талдау үшін жоғары тиімділікті сұйықты хроматография ултокүлгін детокторы қолданылды. Ультродыбыстық экстракция мақсатты қосылыстардың жоғары концентрациясын қамтамасыз етті: бетулинның мөлшері құрғақ шикізаттың 1 грамында 12,5 мг-ға жетті.

ИҚ-спектрофтометр сығындыларға тән тритерпеноидты функционалды топтардың болуын нақтылады.

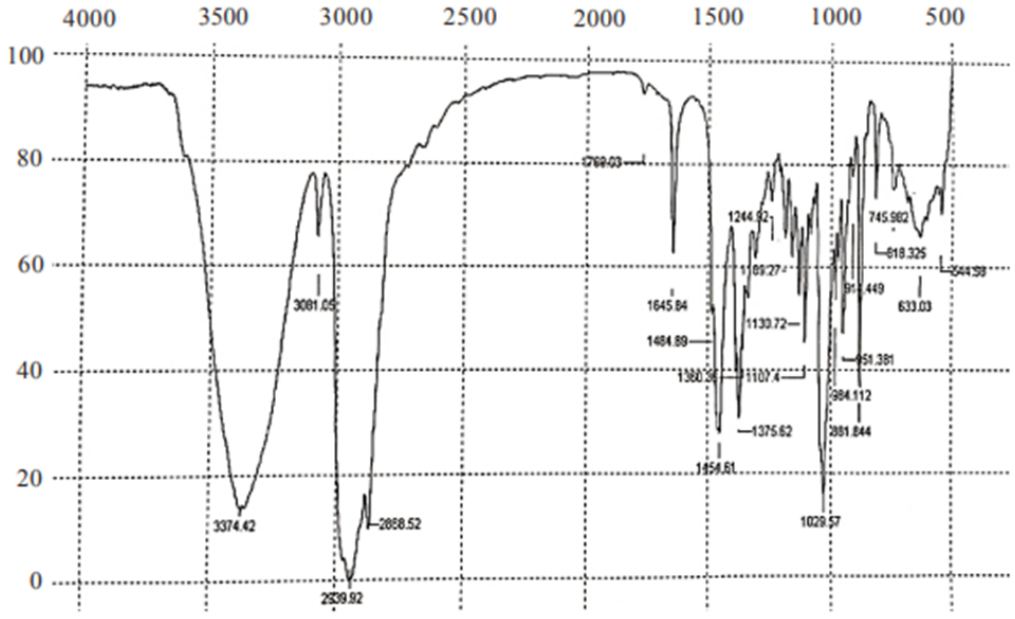
Оңтайлы ультрадыбыстық белсендіру параметрлерін пайдалану арқылы алынған сығындылар маңызды биологиялық белсенділікті көрсетті. Олар тритерпеноидтардыңжоғары концентрациясына жататын DPPH талдауларында айқын антиоксиданттық әсер көрсетті.

Зерттеудің негізгі нысаны тритерпеноидтар зертханада алынғандықтан қосылыстарды бөліп алу барысында қателіктер кетеді. Осы себепті тритерпеноидтардың химиялық құрылымының дәлдігін анықтау үшін WTW компаниясышығарған, маркасы PhotoLab 7100 спектрометрі қолданылды. Тритерпеноидты қаңқалардың бірнеше түрі ИҚ спетрометр арқылы анықталды. Қайың қабығынан тритерпеноидтарды бөліп алудың технологиясы 1-суретке сәйкес келеді.



1 - сурет. Қайынның қабығынан тритерпеноидтарды бөліп алудың технологиялық сұлбасы

Алынған сығындының тазалығын тәжірибенің дәлдігін тексеру және әр тритерпеноидтың сығындыдағы мөлшерін анықтау үшін спектрофотометрия әдісі қолданылды.



2 - сурет. Бетулин мен оның қосылыстарының спектрі

Қайың сығындысының құрамында гидроксил және α, β қанықкан карбонилді қосылыстағы топтардан тұратын тритерпоноид бар екендігі анықталды. 3200-3500 см (-1) аймағындағы кең жолақ гидросикл топтарындағы О-Н баланыстарының созылу тербелістердің жұтылуына сәй-

кес келеді. Ол бетулин молекуласында бірнеше гидропкил топтарының болатынын көрсетеді. 1680-1690 см (-1) аймағындағы жолақ α, β қанықпаған карбонилді қосылыстағы С=О байланысының созылу тербелістерінің жұтылуына сәйкес келеді. Ол дегеніміз қайың сығындысындағы бетулинді құрайтын α, β қанықпаған кетондарға тән екені анықталды. Қайың сығындысының құрамындағы функционалдық топтар 1-кестеде көрсетілген.

1 - кесте. Спектр негізіндегі қайың сығындысының құрамындағы функционалды топтар

№	**Тритерпеноид атауы**	**Тритерпеноидтарға сәйкес шыңдар (пик) (см(-1))**	**Интерпертация**
1	Бетулин	17,6903	α, β қанқықпаған карбонилді қосылыстағы карбонил тобының созылу тербелісі.
2	Бетанол	16,4584	α, β қанықпаған қосылыстардағы тербелісі С=С қас байланыстың созылу тербелістері.
3	Лупеол	14,8489	Метилен топтарының деформациялық тербелістері.
4	Олеанол қышқылы	13,6036	Метил топтарының деформация тербелісі.
5	Бетулин қышқылы	11,3072	Карбоксил топтарындағы С-О байланысының созылу тербелістері.

Бетулинді басқа ұқсас қосылыстрдан ерекшелендіретін негізгі артықшылықтары, қолжетімді шикізат базасы, шикізаттағы негізгі заттың жоғары мөлшері, тритерпеноитарды бөліп алудың қарапайымдылығы. Бетулин – ол дәмсіз, иіссіз ұнтақ, түсі ақшыл ашық. Бетулиннің балқу температурасы 240-260^{0}С, молекуласының инертті қасиеттері қасиеттерін өзгертпей ұзақ сақтау мерзімін қамтамасыз етеді, улы емес, оттегі мен күн сәулесіне төзімді. Бетулин органикалық ерткіштерде ериді, эмульциялаушы және құрылым түзуші қасиетке ие, май және май эмульциясын түзелі. Мұндай технологиялық қасиеттер бетулинді зерттеушілер үшін тиімді етеді, өйткені олардайын өнімнің дәміне әсер етпейді және пробиотиктерге қарағанда өнімді термиялық өңдеуге мүмкіндік береді. Сығындыны қолданудың қауіпсіздігі В.В. Закусов атындағы Ресей медицина ғылымдары академиясының Фармакология ғылыми зерттеу институтының дәрілік токсиология зертханасында, жаңа фармакологиялық қойылатын талаптарға сәйкес дәлелденеді. Экстракт улы, мутагенді емес, репродуктивті, уыттылық және аллергендік қасиеті жоқ. Осы аталған зертханада қабынуғы қарсы қаиеттері мен ашық антиаллергиялық әсерлері расталды. Халықаралық жіктеу бойынша ол аз уытты заттардың төртініші класына жатады. Тағамдық қоспалар және тамақ өнеркәсібі үшін шикізат ретінде бетулиннің микробиологиялық көрсеткіштеріне жүргізілен зерттеулер бетулиннің СанЕмН 2.3.2.1078 талаптарына сәйкес келеді [7].

Азық-түлікке бетулин қоспасын енгізу өнімнің сапасын жақсартады антиоксиданттық әсері бар өнімдерге енгізгенде қышқыл мен пероксид санын азайтады, өнімнің сақтау мерзімін арттырады. Бетулиннің күнделікті диеталық өнімдерге қосылуы функционалы пайдалы тағам өнімдерін, арнайы мақсаттағы функционалды өнімдерді әзірлеуге мүмкіндік береді. Бетулин қосылған функционалдық тағамдарды тұтыну кезінде адам ағзасына емдік-профилактикалық әсер етеді. Толықтықтан, асқазан-ішек жолдарының ауруларынан қорғайды, қан ментіндердегі холестеринді, қатерлі ісік және басқа да көптеген аурулардың пайда болу қаупін төмендетеді [8].

Ақ қайың (Betula pendula) қабығы – тритерпеноидтарға, әсіресе бутулин мен оның туындыларына бай табиғи шикізат көзі екені анықталған. Бұл қосылыстар микробтарға қарсы, қабынуға қарсы және антиоксиданттық қасиеттерімен ерекшеленеді. Ол дегеніміз, функционалды тағам өнімдерін байытуда және табиғи қоспалар ретінде қолдануға мүмкіндік береді. Ультрадыбыстық активацияны қолдана отырып, қайың қабығынан тритерпеноидтарды тиімді бөліп алу үшін оңтайлы технологиялық параметрлер анықталды.

Ультрадыбыстық экстракцияның артықшылықтары: Экологиялық қаупсіз – органикалық еріткіштердің көлемі азаяды; Қысқа уақыт ішінде жоғары шығымы – жасуша қабырғаларын тиімді бұзады; Дәстүрлі әдістермен салыстырғанда энергия шығыны төмен; Биологиялық белсенді заттар ыдырамайды.

2 - кесте. Оңталы параметрлерді таңдау

№	**Параметр**	**Ұсынылатын диапазон**	**Ескерту**
1	Ультрадыбыстық қуат	100-300 Вт	Параметрлер шикізаттың ұнтақталу дәрежесіне және тиртерпеноид түріне байланысты өзгеруі мүмкін
2	Жұмыс жиілігі	10-40 кГц	
3	Экстракция уақыты	20-40 минут	
4	Еріткіш түрі	Этанол (70%) немесе эанол-су қоспасы	
5	Шикізат / еріткіш қатынасы	1:10 – 1:20 (массалық қатынас)	
6	Температура	30-50 ^{0}C (жоғары емес)	

Ультрадыбыстық активация – қайың қабығынан тритерпеноидтарды бөліп алудың тиімді, жылдам және экологиялық таза әдісі. Технологиялық параметрлерді оңтайландыру арқылы өнімнің шығымын арттырып, сапалы биологиялық белсенді қоспалар алуға мүмкіндік береді. Авторлардың зерттеулері бойынша ультардыбыспен өсімдіктен экстарция жасаудың тиімділігі экдистероидтар мен флаваноидтардың шығымдарымен негізделген [9].

Физика-химиялық қасиеттеріне, сондай-ақ биологиялық фармаколиялық белсенділігінің кең спектріне байланысты бетулин әр түрлі тағам өнімдеріне қосуға болатын переспективалы табиғи биологиялық белсенді қоспа болып табылады. Сол себепті де тритерпеноидтар суда нашар еритіндігінен майлы сүт өнімдеріне тағамдық қоспа ретінде енгізген жөн. Эксперименттік зерттеулер бетулин сүт ортасының ұюын өзгертпейтінін, сүтте кездесетін амин қышқылдарымен әрекеттеспейтінін және жақсы тұрақтандырғыш бола отырып сүт өнімдерінің қаупсіздігіне әсер ететін аминқышқылдарының тұрақтандырығыш қасиеттерін күшейтетінін көрсетті. Соңғысы термиялық өңдеуге ұшыраған сүт өнімдерінің сақтау мерзімін ұзарту үшін де маңызды. Өйткені сүт өнімдеріндегі сүт пен сүт фракциясының бөлінуіне әкелетін үдерістерге әсер ететін аминқышқыларының тұрақтандырғыш қасиеттерінің төмендеуі олардың сақтау мерзімін қысқартады. Сүт және сүтқышқылды өнімдерді өңдеу зауттарында сүт өнімдерін өңдеудің технологиялық үдерістерінде бетулинді қолдану гомогенизация үдерісінің ұзақтығын қысқартуға мүмкіндік береді [10].

Қорытынды. Экстракция процессі мен экстрактінің сапасына тікелей әсер ететін барлық параметрлер: қайың қабығының ылғалдылығы мен ұнтақталу дәрежесі, температура ультрадыбыстың жиілігі мен қуаты, экстракция уақыты зерттеліп, қайың қабығынан тритерпеноидтарды бөліп алудың оңтайлы параметрлері анықталды. Сығындының антооксиданттық белсенділігіне талдау жүргізіліп, тритерпеноидтар то-

тығу стрессін және жасуша зақымдануын тудыратын бос радикалдарды бейтараптандырады. Жасушаларды ультракүлгін сәулеленуден, токсиндерден және басқа зиянды факторлардан туындаған зақымданудан қорғап, иммундық жүйені күшейтетіні анықталды.

Сығындыны сүт қышқылды өнімдерге қосудың тиімділігі қымыздың сақтау мерзімін 15 күнге ал айраннынның сақтау мерзімін 7 күннен 10 күнге ұзартатыны анықталды.

Әдебиеттер

1. Погребняк Л. В., Погребняк А. В. Перспективы использования внешней коры деревьев и кустарников семейства берёзовые (Betulaceae) в качестве источника биологически активных и вспомогательных веществ //Известия Самарского научного центра Российской академии наук. -2015. - Т.17 (5-1). - С.174-178.

2. Юферова А. А., Сударева М. А., Дубняк Я. В. Применение природных антиоксидантов в технологии молочных продуктов//Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. - 2021. - №.2. - С.98-107.

3. Косяков Д. С., Ульяновский Н. В., Фалев Д. И. Определение тритерпеноидов коры березы методом жидкостной тандемной хроматомасс-спектрометрии //Масс-спектрометрия. - 2013. - Т.10(4). - С. 237-242.

4. Белякова А. Ю., Погребняк А. В., Погребняк Л. В. Физико-химические и биологические свойства компонентов внешней коры березы //Современные проблемы науки и образования. – 2015. - №.2(2). -С.492-492.

5. Зобкова З.С., Федотова О.Б., Фурсова Т.П., Зенина Д.В., Гаврелина А.Д., Щелигинова Н.Р. Исследование антимикробных свойств бетулиносодержащего экстракта в молочных продуктах //Молочная промышленность. - 2017. - №.1. - С.50-52.

6. Тургенбаева Ш.Ш. Хатибаева А.Ш. Получение экстрактивных веществ берёзы. // Universum: химия и биология электронный научный журнал. -2020. № 8 (74).

7. Миназова Г. И. Тонкослойная хроматография в анализе природного сырья //Башкирский химический журнал. - 2010.- Т.17(5). - С.105-107.

8. Юферова А. А., Сударева М. А., Дубняк Я. В. Применение природных антиоксидантов в технологии молочных продуктов//Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК–продукты здорового питания.- 2021.- №.2.- С.98-107.

9. Зибарева Л. Н., Филоненко Е. С. Влияние ультразвукового воздействия на экстракцию биологически активных соединений растений семейства Caryophyllaceae //Химия растительного сырья. - 2018. - №.2. - С. 145-151.

10. Москалев Е. В., Поняев А. И. Здоровые продукты питания с применением биологически активной добавки-бетулина // Балтийский морской форум: материалы VII Междунар. Балт. мор. форума, 7-12 окт.2019 г.- 2019. - Т.5.- С.73-77.

References

1. Pogrebnjak L. V., Pogrebnjak A. V. Perspektivy ispol’ zovanija vneshnej kory derev’ ev i kustarnikov semejstva berjozovye (Betulaceae) v kachestve istochnika biologicheski aktivnyh i vspomogatel’ nyh veshhestv //Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. -2015. - T.17 (5-1). - S.174-178. [in Russian]

2. Juferova A. A., Sudareva M. A., Dubnjak Ja. V. Primenenie prirodnyh antioksidantov v tehnologii molochnyh produktov//Tehnologii pishhevoj i pererabatyvajushhej promyshlennosti APK-produkty zdorovogo pitanija. - 2021. - №.2. - S.98-107. [in Russian]

3. Kosjakov D. S., Ul’ janovskij N. V., Falev D. I. Opredelenie triterpenoidov kory berezy metodom zhidkostnoj tandemnoj hromatomass-spektrometrii //Mass-spektrometrija. - 2013. - T.10(4). - S.237-242. [in Russian]

4. Beljakova A. Ju., Pogrebnjak A. V., Pogrebnjak L. V. Fiziko-himicheskie i biologicheskie svojstva komponentov vneshnej kory berezy //Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. – 2015. - №.2(2). - S.492-492. [in Russian]

5. Zobkova Z.S., Fedotova O.B., Fursova T.P., Zenina D.V., Gavrelina A.D., Shheliginova N.R. Issledovanie antimikrobnyh svojstv betulinosoderzhashhego jekstrakta v molochnyh produktah //Molochnaja promyshlennost’. - 2017. - №.1. - S.50-52. [in Russian]

6. Turgenbaeva Sh.Sh. Hatibaeva A.Sh. Poluchenie jekstraktivnyh veshhestv berjozy. // Universum: himija i biologija jelektronnyj nauchnyj zhurnal. -2020. № 8 (74).

7. Minazova G. I. Tonkoslojnaja hromatografija v analize prirodnogo syr’ ja //Bashkirskij himicheskij zhurnal. - 2010.- T.17(5). - S.105-107. [in Russian]

8. Juferova A. A., Sudareva M. A., Dubnjak Ja. V. Primenenie prirodnyh antioksidantov v tehnologii molochnyh produktov//Tehnologii pishhevoj i pererabatyvajushhej promyshlennosti APK–produkty zdorovogo pitanija.- 2021. - №.2.- S.98-107. [in Russian]

9. Zibareva L. N., Filonenko E. S. Vlijanie ul’ trazvukovogo vozdejstvija na jekstrakciju biologicheski aktivnyh soedinenij rastenij semejstva Caryophyllaceae //Himija rastitel’ nogo syr’ ja. - 2018. - №.2. - S.145-151. [in Russian]

10. Moskalev E. V., Ponjaev A. I. Zdorovye produkty pitanija s primeneniem biologicheski aktivnoj dobavki-betulina // Baltijskij morskoj forum: materialy VII Mezhdunar. Balt. mor. foruma, 7-12 okt. 2019 g.- 2019. - T.5.- S.73-77. [in Russian]

Сведения об авторах

Карденов С.А. - т.ғ.к. қауым. профессор м.а., С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: Askerbekovsk@mail.ru;

Байтукенова С.Б. - т.ғ.к., қауым. профессор, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Казахстан, e-mail: saule7272 @mail.ru;

Байтукенова Ш.Б. - т.ғ.к., қауым. профессор, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: baytukenova75@mail.ru;

Базылханова Э.Ч. - PhD доктор, қауым. профессор м.а., С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: 66bel@bk.ru;

Ажгереева Ж.С. - т.ғ.м., оқытушы С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: zhuldyz_09.11@mail.ru.

Information about the authors

Kardenov S.A. - Candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor, S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, e-mail: Askerbekovsk@mail.ru;

Baitukenova S.B. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: s.baitukenova@mail.ru;

Baitukenova Sh.B. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, e-mail: baytukenova75@mail.ru;

Bazylkhanova E.Ch. - PhD doctor, Acting Associate Professor, S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana,

Kazakhstan, e-mail: 66bel@bk.ru;

Azhgereeva Zh.S. - Master of Technical Sciences, lecturer, S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, e-mail: zhuldyz_09.11@mail.ru.

МРНТИ 65.63.33 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1173**

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ЙОГУРТ, ОБОГАЩЕННЫЙ ЭКСТРАКТОМ ПОЛИФЕНОЛОВ ИЗ СКОРЛУПЫ АРАХИСА

[1]Т.Ч. Тултабаева, [1]У.Т. Жуманова, [1]Б.Ч. Тултабаев, [2]А.Е. Шоман, [1]А. Сагандык, [1]А. Мулдашева, [1]Д. Айкен, [1]Н. Батталова, [3]М. Тултабаев

[1]Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, Астана, Казахстан,
[2]Научно-инновационного центра Agro Tech - Astana IT University, Астана, Казахстан,
[3]Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан

Корреспондент-автор: yrath2510@gmail.com

Целью данного исследования было изучение применения полифенолов скорлупы арахиса для обогащения молочного йогурта, а также их влияние на физико-химические и органолептические свойства йогурта. Полифенолы были извлечены из скорлупы арахиса и добавлены в состав йогурта в количестве 0,25%, 0,5%, 0,75%. Добавление полифенолов скорлупы арахиса повысило влагоудерживающую способность, снизило синерезис и улучшило стабильность в течение периода хранения (15 дней) по сравнению с контрольным образцом. Титруемая кислотность увеличивалась в течение срока хранения, а влагоудерживающая способность улучшалась при добавлении экстракта полифенолов. Органолептический анализ показал, что йогурт, обогащённый 0,5%-ной добавкой полифенолов скорлупы арахиса, был предпочтительнее по органолептическим параметрам. Эти результаты дают представление о том, как оптимизировать обогащение йогурта полифенолами арахиса для улучшения его физико-химических и органолептических свойств.

Ключевые слова: полифенолы, арахис, йогурт, экстрактация, обогащение.

СЫҒЫНДЫМЕН БАЙЫТЫЛҒАН ФУНКЦИОНАЛДЫ ЙОГУРТ ЖЕРЖАҢҒАҚ ҚАБЫҒЫНАН ЖАСАЛҒАН ПОЛИФЕНОЛДАР

[1]Т.Ч. Тултабаева, [1]У.Т. Жуманова, [1]Б.Ч. Тултабаев, [2]А.Е. Шоман, [1]А. Сагандык, [1]А. Мулдашева, [1]Д. Айкен, [1]Н. Батталова, [3]М. Тултабаев

[1]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Казахстан,
[2]Agro Tech ғылыми-инновациялық орталық-Astana IT University, Астана, Казахстан,
[3]Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail:yrath2510@gmail.com

Бұл зерттеудің мақсаты сүт йогуртын байыту үшін жержаңғақ қабығының полифенолдарын қолдануды, сондай-ақ олардың йогурттың физика-химиялық және органолептикалық қасиеттеріне әсерін зерттеу болды. Полифенолдар жержаңғақ қабығынан алынып, йогурт құрамына 0,25%, 0,5%, 0,75% мөлшерінде қосылды. Жержаңғақ қабығының полифенолдарын қосу бақылау үлгісімен салыстырғанда сақтау кезеңінде (15 күн) ылғал ұстау қабілетін арттырды, синерезисті азайтты және тұрақтылықты жақсартты. Титрленетін қышқылдық сақтау мерзімі ішінде өсті, ал полифенол сығындысы қосылған кезде ылғал сақтау қабілеті жақсарды. Органолептикалық талдау көрсеткендей, жержаңғақ қабығының 0,5% полифенол қоспасымен байытылған йогурт органолептикалық параметрлер бойынша қолайлы болды. Бұл нәтижелер физикалық-химиялық және органолептикалық қасиеттерін жақсарту үшін йогуртты жержаңғақ полифенолдарымен байытуды қалай оңтайландыру керектігі туралы түсінік береді.

Түйін сөздер: полифенолдар, жержаңғақ, йогурт, экстракция, байыту.

FUNCTIONAL YOGURT ENRICHED WITH EXTRACT POLYPHENOLS FROM PEANUT SHELLS

[1]T. Tultabayeva, [1]U. Zhumanova, [1]B. Tultabayev, [2]A. Shoman, [1]A. Sagandyk, [1]A. Muldasheva, [1]D. Aiken, [1]N. Battalova, [3]M. Tultabayev

[1]S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan,
[2] Scientific and Innovation Center Agro Tech , Astana IT University, Astana, Kazakhstan,
[3] K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
e-mail:yrath2510@gmail.com

The aim of this study was to investigate the application of peanut shell polyphenols for enriching dairy yogurt and their impact on the yogurt' s physicochemical and organoleptic properties. Polyphenols were extracted from peanut shells and incorporated into the yogurt at concentrations of 0.25%, 0.5%, and 0.75%. The addition of peanut shell polyphenols increased water-holding capacity, reduced syneresis, and improved stability during a 15-day storage period compared to the control sample. Titratable acidity increased over the storage period, while water-holding capacity improved with the addition of polyphenol extract. Organoleptic analysis revealed that yogurt enriched with 0.5% peanut shell polyphenols was preferred in terms of organoleptic properties. These findings provide insights into optimizing yogurt enrichment with peanut polyphenols to enhance its physicochemical and organoleptic characteristics.

Keywords: polyphenols, peanuts, yogurt, extraction, enrichment.

Введение. Полифенолы - это одна из самых многочисленных и широко распространенных групп веществ растительного мира, вторичные метаболиты которых имеют более 8000 фенольных структур. Полифенольные соединения присутствуют в рационе человека, и их регулярное употребление является необходимым для здорового питания [1]. Источники пищевых полифенолов в природе многочисленны, и их можно найти в различных продуктах растительного происхождения, включая злаки, орехи, специи, ягоды, овощи и фрукты.

Общепризнанные и научно обоснованные преимущества полифенолов для здоровья человека вызывают большой интерес исследователей в области питания. В настоящее время доказано, что некоторые полифенолы, принимаемые в качестве добавок или вместе с пищей, действительно могут улучшить состояние здоровья пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Кроме того, многие исследования, проведённые в лабораторных условиях или на животных, показывают, что длительное употребление в пищу продуктов, богатых полифенолами, может предотвратить некоторые виды рака, диабет второго типа, нейродегенеративные заболевания и ухудшение работы мозга [2]. Доказано, что многие полифенолы обладают антиоксидантной, гепатопротекторной, противовоспалительной, противоопухолевой и противовирусной активностями. Полифенольные соединения обладают функциональными свойствами и биологической активностью (антивозрастной, противовоспалительной, антиоксидантной и антипролиферативной), которые эффективно укрепляют здоровье человека [3].

Растительные продукты и продукты их переработки хорошо известны как важные источники фенольных соединений. Однако в последние годы возрос интерес к отходам пищевой промышленности как к источникам полифенолов. Многочисленные исследования в этой области показали, что побочные продукты переработки пищевых продуктов содержат большее количество биологически активных соединений по сравнению с исходным сырьём [4,5].

Побочные продукты сельскохозяйственной продукции часто являются более богатыми источниками фенольных соединений, чем соответствующие исходные материалы или пищевые продукты [6,7].

Побочным продуктом переработки очищенного арахиса является его скорлупа (в некоторых источниках используют термин «шелуха»). Скорлупа составляет около 30% от общего веса бобовых, на 1 кг арахисового ореха приходится около 200-300 г скорлупы [8]. Ежегодно во всем мире производится около 11 000 000 тонн таких отходов арахисовой промышленности, основная часть которых в прежние годы выбрасывалась или сжигалась [9].

В последние годы разрабатываются новые способы использования сельскохозяйственных

отходов, производимых при переработке арахиса, в различных отраслях, в том числе и в пищевой промышленности. Большой интерес представляет скорлупа арахиса, как источник биоактивных и функциональных соединений, которые являются безопасными для человека при их потреблении [10].

Основные полифенолы, обнаруженные в скорлупе арахиса, представляют собой флавоноиды, фенольные кислоты и стильбены. Было показано, что скорлупа арахиса различных корейских сортов содержит большое количество антиоксидантов: от 428,1 до 739,8 мкг эквивалентов галловой кислоты/г для полифенолов, от 142,6 до 568,0 мкг эквивалентов кверцетина/г для флавоноидов и от 5,76 до 34,56 мг/г аминокислот [11].

Сообщается, что общее содержание фенолов в скорлупе арахиса составило 41,8, 19,9 и 7,3 мг/г при экстракции метанолом, этанолом и ацетоном соответственно. Основным флавоноидным соединением скорлупы арахиса является лютеолин [12]. При изучении фенольных соединений в шелухе арахиса четырёх разных сортов установлено, что содержание лютеолина составляло от 0,95 до 3,16 мг/г скорлупы, а общее содержание фенольных соединений - от 4,2 до 10,2 мг/г скорлупы [13]. Таким образом, побочные продукты переработки арахиса богаты фенольными соединениями, а в скорлупе арахиса основным фенольным соединением является лютеолин.

Побочные продукты арахиса пока еще не нашли широкого практического применения в пищевой промышленности, но в последние годы проводятся многочисленные исследования по возможности использования кожуры и скорлупы арахиса, а также извлеченных из них экстрактов полифенолов в составе продуктов питания.

Одним из направлений применения экстрактов полифенолов из растительного сырья является их использование для улучшения фенольного уровня йогурта. Йогурт хорошо известен своей превосходной усвояемостью и биодоступностью белка, калия, кальция и витаминов группы В, поэтому он является важным дополнением к рациону [14]. Йогурт популярен как полезный ферментированный продукт, однако он не содержит в своем составе полифенолы, поэтому для улучшения фенольного уровня йогурта применяются растительные добавки. В работе [15] в качестве функциональных компонентов для обогащения йогуртов использовали этанольные экстракты четырех различных сортов винограда и виноградный каллюс. В другом исследовании [16] было показано, что обогащение йогурта полифенольным экстрактом клубники в количестве 0,5 мг/мл в семь раз увеличивает антиоксидантную активность продукта по сравнению с контролем.

Джени и соавторы [17] обнаружили, что включение экстракта кожуры граната в состав йогурта повышает содержание фенольных соединений, таких как флавоноиды и антоцианы, что усиливает питательную ценность и антиоксидантные характеристики продукта. В исследовании [18] было установлено, что добавление полифенольного экстракта из кожуры зеленого банана оказывает значительное влияние на такие параметры йогурта, как pH, титруемая кислотность, вязкость, способность удерживать воду, синерезис и общее содержание сухих веществ. При этом различия в цвете между контрольными и обогащенными образцами не наблюдались. Альмехизиа и др.[19] показали, что использование полифенолов из кожуры имбиря в функциональном йогурте улучшает его способность удерживать влагу и снижает синерезис. Кроме того, текстура йогурта с добавлением экстракта была лучше спустя три недели хранения по сравнению с контрольным образцом. Исследователи считают, что полифенолы из кожуры имбиря можно успешно микрокапсулировать для повышения стабильности продукта при хранении в холодильнике. В работе [20] показано, что добавление экстрактов полифенолов бенгальской акации приводит к улучшению питательных и органолептических свойств функционального йогурта. Таким образом, экстракты полифенолов из растительного сырья являются ценным компонентом для обогащения йогурта.

Однако до сих пор не проводилось исследований по использованию экстракта полифено-

лов из скорлупы арахиса в кисломолочных продуктах. Целью данного исследования была разработка йогурта, обогащенного полифенолами из скорлупы арахиса, а также изучение влияния экстракта полифенолов из скорлупы арахиса на физико-химические и органолептические свойства йогурта.

Материалы и методы.

Сырьевые материалы.

Свежий арахис (*Arachis hypogaea* L.) и цельное коровье молоко были куплены на местном рынке города Астаны. Использовалась бактериальная закваска Yolactis Classic, производитель ТОО «European Food Company», Казахстан. Эксперименты проводились в лаборатории КАТИУ им. С.Сейфуллина.

Приготовление экстракта полифенолов из скорлупы арахиса.

Скорлупу арахиса очистили от загрязнений и трижды промыли водой, после чего высушили в вакуумной печи при температуре 55 °C в течение 36 часов до достижения постоянного веса. Высушенную скорлупу арахиса измельчили в порошок с помощью дробилки и просеяли через сито из нержавеющей стали с размером ячеек 0,095–0,995 мм. Перед использованием все образцы порошка хранились в эксикаторе в холодильнике при температуре 5 °C.

Для ультразвуковой экстракции в химический стакан на 400 мл добавили 20,0 г порошка из скорлупы арахиса и 200 мл 70% этилового спирта (рис.1,а) Образцы подвергли ультразвуковой обработке при мощности ультразвука 200 Вт и частоте в диапазоне 10 кГц в течении 30 минут (рис.1,б). Этанольный экстракт отфильтровали с помощью центрифугирования и выпарили до 1/4 от первоначального объема с помощью роторного испарителя при температуре 35 °C. (рис.1,в) Концентрированный раствор лиофилизирован с помощью сублимационной сушки для получения порошков. В данном исследовании все эксперименты по экстракции проводились и анализировались в трёхкратной повторности.



а **б** **в**

Рис.1 — Последовательность процесса экстракции полифенолов из скорлупы арахиса, где: а — суспензия измельчённой скорлупы арахиса в 70% этиловом спирте, б — ультразвуковая экстракция, в — роторный испаритель.

Приготовление функционального йогурта.

Йогурт был приготовлен из цельного молока, которое нагревали в течение 5-10 минут при температуре 95 °C, а затем охлаждали до 45 °C. Закваска была равномерно распределена в молоке

в количестве 2 % (по массе) и перемешана. Были взяты четыре образца молока, в которое была добавлена закваска (контрольный и три экспериментальных образца). Приготовление функционального йогурта проводилось с использованием 3 концентраций экстракта полифенолов скорлупы арахиса (ЭПС): C_1 - 0,25%; C_2 - 0,5% и C_3 - 0,75%. В контрольном образце йогурта (С) не было добавок. После этого образцы разлили по предварительно стерилизованным стаканчикам и инкубировали при температуре 42-45 °С в течение 4-8 часов. Характеристики йогурта изучали в течение 15 дней при температуре около 4 ± 1 °С.

Физико-химический анализ функционального йогурта. pH и титруемая кислотность.

Для определения pH образца йогурта, обогащенного полифенолами, использовался цифровой pH-метр (HI-2211, Hanna Instruments, Румыния). К образцу объемом 5 мл добавили 10 мл дистиллированной воды. Для калибровки pH-метра использовались три значения pH буферного раствора.

Для определения кислотности йогурта использовалось кислотно-щелочное титрование. Образец массой 10 г смешали с 10 мл горячей дистиллированной воды и оттитровали 0,1 н раствором гидроксида натрия с 0,5 % фенолфталеином в качестве индикатора.

Влагоудерживающая способность.

Влагоудерживающую способность измеряли с помощью метода, описанного в работе [21], при котором образец йогурта весом 20 г центрифугировали при 5000 об/мин в течение 10 минут при температуре 20 °С. Отделившуюся сыворотку сливали, а образец взвешивали в граммах. Влагоудерживающую способность рассчитывали по формуле (1):

$$\text{ВУС (\%)} = \frac{M - Mc}{M} \times 100\% \qquad (1)$$

где Mc – вес сыворотки после центрифугирования (г), M - вес йогурта (г)

Синерезис.

Образцы йогурта были отделены от сыворотки, затем для сведения к минимуму нарушения структуры сгустка постепенно было добавлено 25 мл застывшего йогурта в центрифужные пробирки объёмом 50 мл при температуре 5 °С. Затем их центрифугировали в течение 20 минут при 3394 об/мин в центрифуге(СМ-6МТ). В качестве показателя синерезиса сыворотки использовалась массовая доля надосадочной жидкости (мл/100 г йогурта), которую рассчитывали по следующей формуле (2):

$$\text{Синерезис (\%)} = \frac{Vc}{V} \times 100 \qquad (2)$$

где Vc - обьем надосадочной жидкости, V - начальный объем йогурта.

Органолептическая оценка функционального йогурта.

Органолептическую оценку исследуемых образцов проводили в сравнении с контролем. В качестве дескрипторов выбраны вкус, цвет, запах, внешний вид и консистенция изделий. Данные параметры оценивали по пятибалльной шкале.

Обсуждение и результаты. Синерезис и влагоудерживающая способность - два важных показателя качества йогурта. Пробы С, C_1, C_2 и C_3 показали изменения влагоудерживающей способности; значения варьировались от 67,25 до 62,31; от 69,18 до 62,77; от 72,23 до 66,12 и от 70,87 до 65,74 процентов (табл.1).

В контрольном образце йогурта в первый день существенно снижалась способность удерживать воду по сравнению с образцами C_1, C_2 и C_3. Было замечено, что ЭПС обеспечивает преимущества в плане сохранения и повышения способности удерживать воду. Изначально образец C_3 обладал более высокой способностью удерживать воду по сравнению с йогуртом из контрольной группы (рис.2) На способность йогурта удерживать воду может влиять множество факторов, таких как тип используемого молока, способ обработки, а также любые дополнительные добавки или стабилизаторы, используемые в процессе производства. Содержание воды в йогурте влияет на его кремообразную текстуру. Исследование выявило положительную кор-

реляцию между добавлением ЭПС и способностью удерживать воду, при этом на эту способность также влияет тип используемой бактериальной культуры.

Таблица 1. Физико-химические показатели образцов йогурта

Показатели	Образцы	Сроки хранения (сутки)			
		0	5	10	15
Водоудерживающая способность (%)	C	67,25	66,85	64,61	62,31
	C1	69,18	67,50	65,21	62,77
	C2	72,23	69,94	67,98	66,12
	C3	70,87	68,98	67,9	65,74
Синерезис (%)	C	15,78	17,37	19,14	21,25
	C1	14,24	15,32	16,78	17,65
	C2	13,89	14,34	15,27	16,55
	C3	12,97	13,23	14,47	15,21
pH	C	4,69	4,66	4,62	4,55
	C1	4,67	4,63	4,54	4,49
	C2	4,65	4,62	4,56	4,49
	C3	4,61	4,57	4,49	4,37
Титруемая кислотность	C	0,75	0,82	0,85	0,89
	C1	0,81	0,86	0,95	1,02
	C2	0,91	0,98	1,04	1,13
	C3	1,05	1,12	1,17	1,25

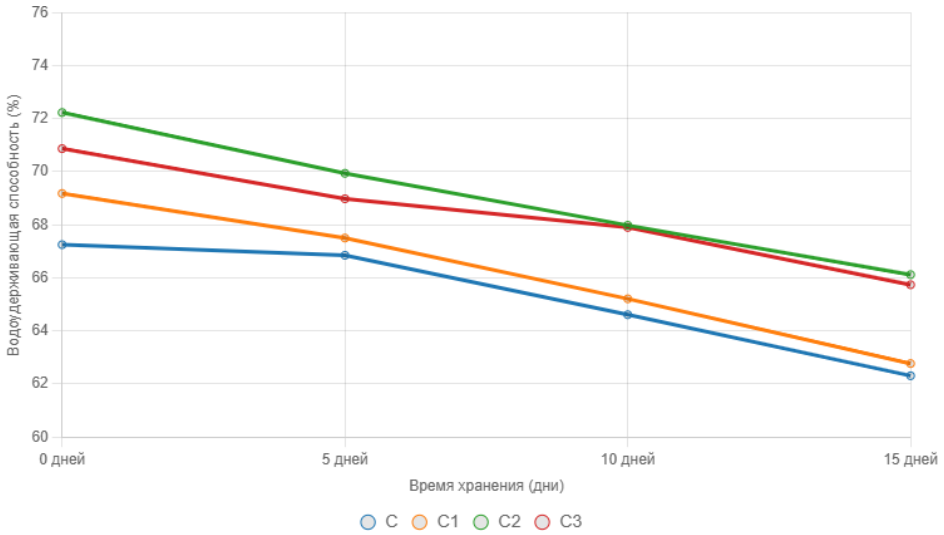


Рис.2 - Изменение влагоудерживающей способности в процессе хранения в контрольном (С) и обогащенных ЭПС образцах йогурта (C_1 - 0,25%; C_2 - 0,5% и C_3 -0,75%.)

Наряду с влагоудерживающей способностью, синерезис - нежелательное отделение сыворотки в йогуртах - считается показателем качества. Согласно полученным результатам синерезис увеличивается в процессе хранения и обратно пропорционален содержанию ЭПС. На начальный момент в контрольном образце (C_0) наблюдался более высокий синерезис (15,78) по сравнению с йогуртами, обогащёнными ЭПС. Образцы C_1, C_2 и C_3 (14,24, 13,21 и 12,57 соответственно) продемонстрировали наименьшее количество синерезиса (рис.3)

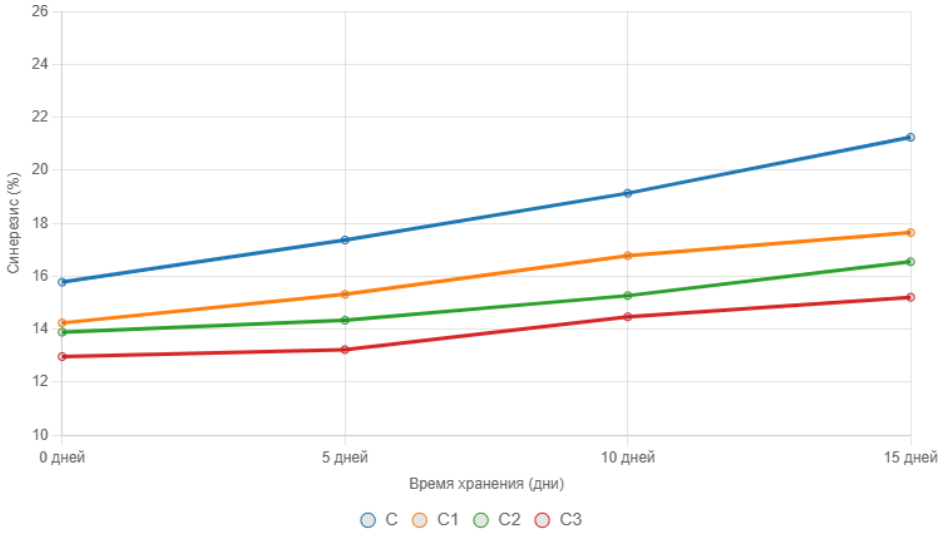


Рис.3 - Изменение синерезиса в процессе хранения в контрольном (С) и обогащенных ЭПС образцах йогурта (C_1 - 0,25%; C_2 - 0,5% и C_3 -0,75%.)

В таблице 1 представлены результаты влияния различных дозировок ЭПС на титруемую кислотность йогурта в течение 15-дневного периода хранения. Показано, что с увеличением концентрации ЭПС в процессе хранения наблюдалось значительное повышение титруемой кислотности. Изменения титруемой кислотности йогурта, обогащённого полифенолами, необходимо учитывать для контроля качества продукта в процессе хранения (рис.4)

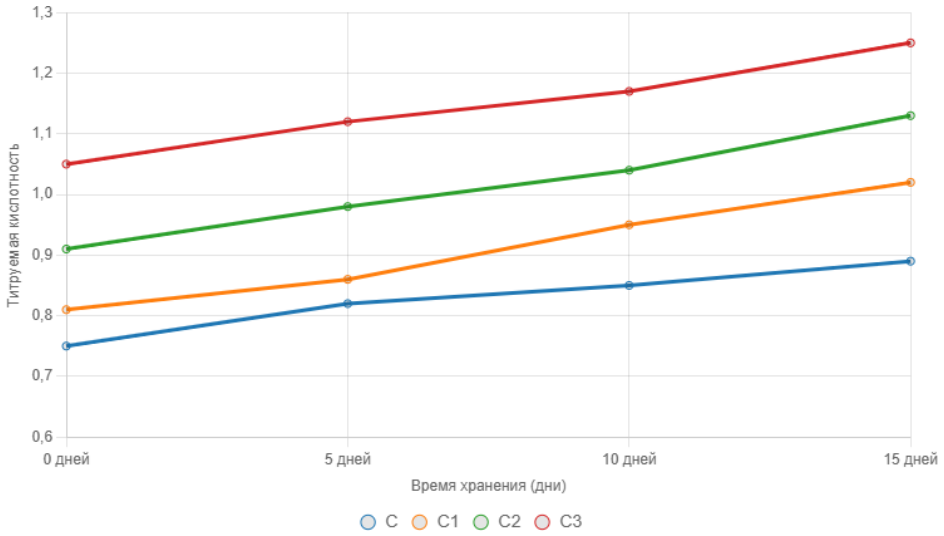


Рис.4 - Изменение титруемой кислотности в процессе хранения в контрольном (С) и обогащенных ЭПС образцах йогурта (C_1 - 0,25%; C_2 - 0,5% и C_3 -0,75%.)

Изменения pH в йогуртах, обогащённых полифенольным экстрактом, проходили с интервалом в 5 дней в течение 15 дней (табл.1). На протяжении всего периода хранения значения pH йогурта неуклонно снижались, при этом не наблюдалось существенных различий между обработанными и контрольным образцами. В начале хранения значения pH образцов C_1, C_2 и C_3 составили 4,67; 4,65 и 4,61 соответственно. Контрольный йогурт, напротив, имел более высокий pH — 4,69. В течение 15-дневного периода хранения в образце C_3 наблюдалось самое значительное снижение pH (5,17 %), в то время как в контрольном образце (C_0) снижение было наименьшим (2,63 %). Также в течение 15-дневного периода хранения снизился pH всех образцов (рис.5).

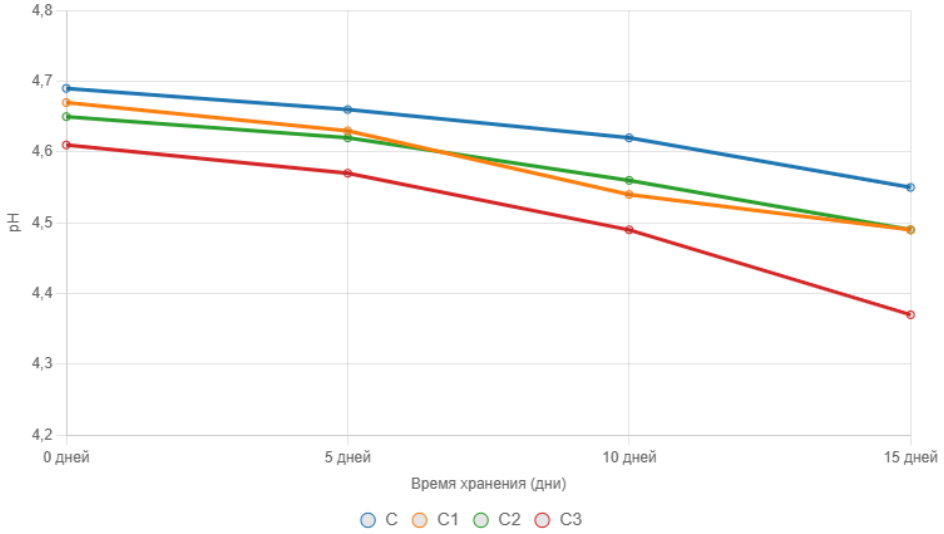


Рис.5 - Изменение pH в процессе хранения в контрольном (С) и обогащенных ЭПС образцах йогурта (C_1 - 0,25%; C_2 - 0,5% и C_3 -0,75%.)

Поскольку ЭПС является кислотой, pH йогурта снижался по мере увеличения уровня ЭПС. Непрерывное превращение лактозы в молочную кислоту бактериями, которые вырабатывают молочную кислоту во время хранения, обусловлено микробной активностью [17]. Этот процесс приводит к постепенному снижению pH по мере того, как бактерии в йогурте испытывают метаболические изменения. На этот естественный процесс могут влиять температура, кислотность молока и условия хранения.

Цвет, вкус, текстура и общая приемлемость функционального йогурта оценивались путем сравнения образцов, обогащенных экстрактом полифенолов скорлупы арахиса (ЭПС), с контрольными образцами. Образцы были идентифицированы по характерному белому цвету с кремовым оттенком, однородной кремообразной текстуре и безошибочно узнаваемому вкусу и аромату коровьего молока. Между образцами, обработанными ЭПС, и контролем были выявлены заметные различия. По цвету C_3 получил наивысшую оценку, а по вкусу, текстуре и общей приемлемости — C_2. По цвету, текстуре и общей приемлемости все обогащенные йогурты были идентичны контрольному образцу. Эти результаты подчёркивают положительное влияние ЭПС на органолептические свойства, указывая на то, что количество ЭПС в образце йогурта C_2 (0,5%) является наиболее эффективным для улучшения органолептических свойств функционального йогурта.

Выводы. Применение экстракта полифенолов скорлупы арахиса для обогащения функционального йогурта привело к улучшению его физико-химических и органолептических харак-

теристик. На протяжении всего срока хранения все обогащённые йогурты показали лучшие результаты по сравнению с контрольным образцом по таким показателям, как pH, титруемая кислотность, снижение синерезиса, увеличение влагоудерживающей способности.

Результаты органолептической оценки показали, что добавление ЭПС в количестве 0,5% в йогурт улучшило его текстуру и вкусовые качества. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют об эффективности использования экстракта полифенолов скорлупы арахиса для разработки функционального йогурта.

Финансирование. *Данное исследование было профинансировано Министерством сельского хозяйства Республики Казахстан, грант № BR22883587 "Совершенствование и разработка технологий глубокой переработки сельскохозяйственного сырья для укрепления продовольственной безопасности Республики Казахстан".*

Литература

1. Abbaszadeh H., Keikhaei B., Mottaghi S. A review of molecular mechanisms involved in anticancer and antiangiogenic effects of natural polyphenolic compounds// Phyther Research. -2019 Vol.33 (8).- P.2002-2014. DOI 10.1002/ptr.6403.

2. Cory H., Passarelli S., Szeto J., Tamez M., Mattei J.. The role of polyphenols in human health and food systems: a mini-review// Frontiers in Nutrition. - 2018 - Vol.5. - Article 87. DOI 10.3389/fnut.2018.00087.

3. Yahfoufi N., Alsadi N., Jambi M., Matar C. The immunomodulatory and anti-inflammatory role of polyphenols// Nutrients. - 2018 - Vol. 10(11). - P.1-23. DOI 10.3390/nu10111618.

4. Shahidi F. Nutraceuticals and functional foods: Whole versus processed foods// Trends Food Science & Technology. - 2009 - Vol.20. - P.376-387. DOI 10.1016/j.tifs.2008.08.004.

5. Amin, T., Bashir, O., Bhat, S.A., & Malik, M.A. (Eds.). (2022). Integrated Waste Management Approaches for Food and Agricultural Byproducts (1st ed.)//Apple Academic Press. - New York.-2023.-258 p.ISSN 9781003282327. DOI 10.1201/9781003282327

6. De Oliveira W.P., Biasoto A.C.T., Marques V.F., Dos Santos I.M., Magalhaes K., Correa L.C., Negro-Dellacqua M., Miranda M.S., de Camargo A.C., Shahidi F. Phenolics from winemaking by-products better decrease VLDL-cholesterol and triacylglycerol levels than those of red wine in Wistar rats.// Journal of Food Science. - 2017- Vol.82. -P.2432-2437. DOI 10.1111/1750-3841.13841.

7. Volstatova T., Marsik P., Rada V., Geigerova M., Havlik J. Effect of apple extracts and selective polyphenols on the adhesion of potential probiotic strains of Lactobacillus gasseri R and Lactobacillus casei FMP.// Journal of Functional Foods. - 2017- Vol.35. -P.391-397. DOI 10.1016/j.jff.2017.06.005.

8. Sorita G.D.; Leimann F.V.; Ferreira S.R.S. Biorefinery approach: Is it an upgrade opportunity for peanut by-products?// Trends in Food Science& Technology.- 2020**.** -Vol.105 (4). - P.56–69 DOI10.1016/j.tifs.2020.08.011.

9. Perea-Moreno M.A., Manzano-Agugliaro F., Hernandez-Escobedo Q., Perea-Moreno A.J. Peanut shell for energy: Properties and its potential to respect the environment.// Sustainability. – 2018- Vol.10(9). - P.3254. DOI 10.3390/su10093254.

10. Isanga J., Zhang G.N. Biologically active components and nutraceuticals in peanuts and related products: Review // Food Reviews International. - 2007. - Vol.23(2). - P.123-140. DOI: 10.1080/87559120701224956.

11. Adhikari B., Dhungana S.K., Ali MW, Adhikari A, Kim I-D and Shin D-H. Antioxidant activities, polyphenol, flavonoid, and amino acid contents in peanut shell.// Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. - 2019 - Vol.18(4). -P.437-442. DOI 10.1016/j.jssas.2018.02.004

12. Duh P.D., Yeh D.B. and Yen G.C. Extraction and Identification of an Antioxidative Component from Peanut Hulls.// Journal of the American Oil Chemists' Society. -1992- Vol.69(12). - P. 814–818. DOI 10.1007/BF02635922.

13. Yen G.C., and Duh P.D. Antioxidant activity of methanolic extracts of peanut hulls from various cultivars.// Journal of the American Oil Chemists' Society.-1995 – Vol.72. - P.1065–1067. DOI 10.1007/BF02660723.

14. Rahman M.N., Islam M.N., Mia M.M., Hossen S., Dewan M.F., Mahomud M.S. Fortification of set yoghurts with lemon peel powders: An approach to improve physicochemical, microbiological, textural and sensory properties.//Applied Food Research .- 2024.- Vol.4 (1):100386. DOI 10.1016/j.afres.2023.100386

15. Karaaslan M., Ozden M., Vardin H. et al. Phenolic fortification of yogurt using grape and callus extracts.// LWT-Food Science Technology. - 2011- Vol.44 (4). - P.1065-1072. DOI 10.1016/j.lwt.2010.12.009.

16. Singh R., Kumar R., Venkateshappa R. et al. Studies on physicochemical and antioxidant properties of strawberry polyphenol extract-fortified stirred Dahi// International Journal of Dairy Technology. - 2013 - Vol.66(1). - P.103-108. DOI 10.1111/j.1471-0307.2012.00874.x.

17. Jany J.F., Nupur A.H., Akash S.I., Karmoker P., Mazumder M.A.R., Alim M.A. Fortification of functional yogurt by the phytochemicals extracted from pomegranate peel.// Applied Food Research. - 2024.- Vol.4(2):100479. DOI 10.1016/j.afres.2024.100479.

18. Mahomud M.S., Islam M.N., Hossen D., Wazed M.A., Yasmin S., Sarker M.S.H. Innovative probiotic yogurt: Leveraging green banana peel for enhanced quality, functionality, and sensory attributes.// Heliyon. - 2024- Vol.10 (19):38781. DOI 10.1016/j.heliyon.2024.e38781.

19. Almehizia A.A., Al-Omar M.A., Naglah A.M., Zen A.A., Rouf M.A., Nupur A.H., et al. Incorporation of ginger peel polyphenol into yogurt inproves its stability: Physicochemical and microbiological characterization.// Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia. - 2025. - Vol.39 (2). - P.201-213. DOI 10.4314/bcse.v39i2.2.

20. Pramanika T., Mazumdera M. A. R., Janya J. F., Akasha S. I., Rahmana A., Bhuiyanb M. K. H. Functional yogurt: An approach to fortify yogurt by polyphenols extracted from Bengal currant //Applied Food Research. - 2025. - Vol.5 (1):100715. DOI 10.1016/j.afres.2025.100715.

21. Zhou W., Cao X., Islam M.N., Zheng H., Li J., Liu F., Dai Y. Comparison of hydrability, antioxidants, microstructure, and sensory quality of barley grass powder using ultra-micro-crushing combined with hot air and freeze drying.// Food Science and Nutrition. – 2021. - Vol.9 (4). - P.1870-1880. DOI 10.1002/fsn3.2138.

Сведения об авторах

Тултабаева Т.Ч. - профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: tultabayeva.tamara567@gmail.com;

Жуманова У.Т. - ответственный за научные проекты, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: umyt.zhumanova@mail.ru;

Тултабаев Б.Ч. - главный инженер по научным проектам, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: baha-baha63@mail.ru;

Шоман А.Е. - директор Научно-инновационного центра Agro Tech, Astana IT University, Астана, Казахстан, e-mail: a.shoman@astanait.edu.kz;

Сагандык А. – докторант, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: assema.bukeyeva@gmail.com;

Мулдашева А. – докторант, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: aknurmuldasheva@gmail.com;

Айкен Д. - магистр технических наук, младший научный сотрудник,Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: Didi_dom@mail.ru;

Батталова Н. - Магистр технических наук, младший научный сотрудник, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: sasha_battalova@mail.ru .

Тултабаев М. - профессор- исследователь, Казахского университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: yrath2510@gmail.com.

Information about the authors

Tultabaeva T.Ch. - Professor, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, e-mail: tultabayeva.tamara567@gmail.com;

Zhumanova U.T. - Head of Scientific Projects, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, e-mail: umyt.zhumanova@mail.ru;

Tultabaev B.Ch. - Chief Engineer for Scientific Projects, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, e-mail: baha-baha63@mail.ru;

Shoman A.E. - Director of the Agro Tech Scientific and Innovation Center, Astana IT University, Astana, Kazakhstan, e-mail: a.shoman@astanait.edu.kz;

Sagandyk A. -Doctoral Student, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, e-mail: assema.bukeyeva@gmail.com;

Muldasheva A. - PhD student, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, e-mail: aknurmuldasheva@gmail.com;

Aiken D. - master of Technical Sciences, Junior Researcher, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, e-mail: Didi_dom@mail.ru;

Battalova N. - master of Technical Sciences, Junior Researcher, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, e-mail: sasha_battalova@mail.ru.

M. Tultabaev - Research Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: yrath2510@gmail.com.

МРНТИ 65.59.91 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1105**

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕЛКОВО-ЖИРОВОЙ ЭМУЛЬСИИ ИЗ КУРИНЫХ СУБПРОДУКТОВ

[1]А.К. Суйчинов, [2]Э.К. Окусханова, [1]Г.А. Капашева, [1]Ж.С. Есимбеков

[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 статье представлена разработка белково-жировой эмульсии (БЖЭ) на основе субпродуктов птицы: куриной кожи, куриного жира и белкового гидролизата. Целью исследования являлось создание стабильной эмульсионной системы с оптимальными функционально-технологическими свойствами для использования в составе мясных продуктов. Были изучены четыре варианта рецептуры с разным содержанием куриного жира (13,5-15,0 %), гидролизата (5,3- 6,8 %), при постоянном содержании куриной кожи (36,4 %) и воды (43,3 %). Активность воды в образцах БЖЭ составила от 0,9798 до 0,9968, что указывает на высокую влажность и необходимость строгого соблюдения условий хранения. Значения pH варьировались в пределах 4,82-4,99, соответствуя требованиям микробиологической безопасности. Наиболее высокая влагоудерживающая способность (78,74 %) зафиксирована у варианта 1, в то время как жироудерживающая способность достигла максимума у варианта 4 (62,4 %). Эмульгирующая способность увеличивалась от 46 % до 56 %, а стабильность эмульсии колебалась от 10 % до 22 %. Органолептические исследования показали, что все образцы имели однородную консистенцию и характерный мясной аромат, при этом вариант 3 был признан наиболее сбалансированным по внешнему виду, текстуре и запаху. Таким образом, рецептура 3 обеспечивает оптимальное соотношение функциональных и органолептических свойств. Разработанная технология БЖЭ позволяет рационально использовать побочное сырье птицы, снижать себестоимость продукции и расширять ассортимент мясных изделий за счёт внедрения безотходных технологий.

Ключевые слова: куриная шкурка, куриный жир, активность воды, pH, белково-жировая эмульсия, гидролизат, функционально-технологические свойства.

ТАУЫҚ СУБӨНІМІНЕН АЛЫНҒАН АҚУЫЗ-МАЙ ЭМУЛЬСИЯСЫНЫҢ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ-ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ

[1]А.К. Суйчинов, [2]Э.К. Окусханова, [1]Г.А. Капашева, [1]Ж.С. Есимбеков

[1]Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ғылыми зерттеу институты (Семей филиалы), Семей, Қазақстан,
[2]«Шәкәрім Университеті» КЕҚ, Семей, Қазақстан,
e-mail: gena.89.89@mail.ru

Мақалада құс субөнімдеріне негізделген ақуыз-май эмульсияның (АМЭ) жасалуы ұсынылған. Құрамында тауық терісі, тауық майы және ақуыз гидролизаты бар, бұл эмульсияны әзірлеудегі мақсат - ет өнімдерінде қолдануға жарамды, тұрақты және оңтайлы функционалды-технологиялық қасиеттері бар эмульсиялық жүйе жасау. Зерттеу барысында тауық майы (13,5-15,0 %) мен гидролизаттың (5,3-6,8 %) мөлшері әртүрлі төрт рецептура нұсқасы қарастырылды, ал тауық терісі (36,4 %) мен су (43,3 %) тұрақты компоненттер ретінде сақталды. АМЭ үлгілеріндегі су активтілігі 0,9798-0,9968 аралығында болды, бұл олардың ылғалдылығының жоғары екенін және сақтау шарттарын қатаң сақтаудың маңыздылығын көрсетеді. pH мәндері 4,82-4,99 шегінде ауытқып, микробиологиялық қауіпсіздік талаптарына сәйкес келді. Ең жоғары ылғал ұстау қабілеті 1-нұсқада (78,74 %) байқалса, ең жоғары май ұстау қабілеті 4-нұсқада (62,4 %) тіркелді. Эмульгирлеу қабілеті 46 %-дан

56 %-ға дейін артты, ал эмульсия тұрақтылығы 10 %-дан 22 %-ға дейін ауытқыды. Органолептикалық зерттеулер барлық үлгілердің біртекті консистенциясы мен тән ет иісіне ие екенін көрсетті, ал 3-нұсқа сыртқы түрі, құрылымы және иісі жағынан ең теңгерімді деп танылды. Осылайша, 3-рецептура функционалды және органолептикалық қасиеттердің оңтайлы арақатынасын қамтамасыз етеді. Жасалған АМЭ технологиясы құс қалдықтарын тиімді пайдаланып, өнімнің өзіндік құнын төмендетуге және ет өнімдерінің ассортиментін кеңейтуге мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: тауық терісі, тауық майы, су активтілігі, pH, белокты-майлы эмульсия, гидролизат, функционалды-технологиялық қасиеттер.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF FUNCTIONAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF PROTEIN-FAT EMULSION FROM CHICKEN OFFAL

[1]A.K. Suichinov, [2]E.K. Okuskhanova, [1]G.A. Kapasheva✉, [1]Zh.S. Yesimbekov

[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 presents the development of a protein-fat emulsion (PFE) based on poultry by-products: chicken skin, chicken fat, and protein hydrolysate. The aim of the study was to create a stable emulsion system with optimal functional and technological properties for use in meat products. Four formulation variants were studied with varying contents of chicken fat (13.5-15.0%) and hydrolysate (5.3-6.8%), while maintaining constant levels of chicken skin (36.4%) and water (43.3%). The water activity in the PFE samples ranged from 0.9798 to 0.9968, indicating high moisture content and the need for strict storage conditions. The pH values varied between 4.82 and 4.99, meeting microbiological safety requirements. The highest water-holding capacity (78.74%) was recorded in variant 1, while the fat-holding capacity reached a maximum in variant 4 (62.4%). The emulsifying capacity increased from 46% to 56%, and the emulsion stability ranged from 10% to 22%. Sensory evaluations showed that all samples had a uniform consistency and characteristic meat aroma, with variant 3 being recognized as the most balanced in terms of appearance, texture, and aroma. Thus, formulation 3 provides an optimal balance of functional and sensory properties. The developed PFE technology allows for the rational use of poultry by-products, reducing product cost and expanding the range of meat products through the implementation of zero-waste technologies.

Keywords: chicken skin, chicken fat, water activity, pH, protein-fat emulsion, hydrolysate, functional and technological properties.

Введение. В современной пищевой промышленности одной из приоритетных задач является повышение качества продукции при одновременном снижении себестоимости. В этом направлении особое значение приобретает эффективное использование побочного сырья, образующегося при переработке мяса птицы, включая куриную кожу. Являясь дешёвым и богатым белком сырьём, куриная кожа встречается в больших объёмах, однако высокое содержание жировой и соединительной тканей ограничивает её прямое применение в готовых мясных изделиях [1]. Для преодоления этих ограничений предлагается использовать куриную кожу в составе белково-жировых эмульсий. Такой подход позволяет вовлечь в переработку низкосортное, но функционально ценное сырьё, экономить качественное мясное сырьё и расширять ассортимент мясной продукции [2].

Совершенствование технологий переработки мясного сырья, включая субпродукты, представляет собой не только производственную, но и социально значимую задачу. Эффективное использование имеющихся ресурсов открывает возможности для создания нового поколения качественных и доступных пищевых продуктов [3]. Использование куриной кожи при создании

белково-жировой эмульсии обеспечивает пищевую промышленность недорогим белоксодержащим сырьём, позволяет высвободить часть высококачественного мясного сырья, а также расширить ассортимент мясной продукции. В связи с этим применение куриной кожи в производстве белково-жировой эмульсии представляет собой актуальное направление безотходной технологии [4].

Куриная кожа считается одним из основных видов побочного сырья, образующегося в процессе переработки мяса птицы. Её химический состав характеризуется высоким содержанием жира - около 45 % [5] и белка - около 9 % (во влажной массе), что делает её перспективным источником для получения липидов, белков и их производных. Особенно ценна кожа с области шеи и бёдер, так как она содержит 1-17 % белков, 20-25 % жира, а также обогащена витаминами (A, B1, B2, B3, PP, C, E) и кальцием [6,7].

В производстве мясной продукции широко используются эмульсии на основе белково-жировых и водно-жировых смесей, способствующие улучшению текстурно-механических характеристик, функционально-технологических показателей, а также повышению пищевой и биологической ценности изделий [8]. Эмульсия представляет собой многокомпонентную дисперсную систему, в которой дисперсной фазой является жир, а дисперсионной средой — вода [1]. Для достижения наилучших результатов при использовании таких систем важно обеспечить совместимость ингредиентов за счёт рационального подбора их функциональных свойств [9].

Таким образом, куриная кожа, являясь побочным продуктом переработки мяса птицы, представляет собой ценный источник белка, жира, витаминов и минеральных веществ. Несмотря на морфологические особенности, затрудняющие её прямое использование в мясных изделиях, создание белково-жировой эмульсии на основе куриной кожи является эффективным технологическим решением. Белково-жировая эмульсия способствует стабилизации сырья, улучшению функционально-технологических свойств мясных продуктов, а также снижению себестоимости производства за счёт вовлечения низкокачественного сырья. Такой подход расширяет ассортимент мясных изделий, обеспечивает рациональное использование ресурсов и способствует внедрению безотходных технологий, что делает его актуальным направлением в пищевой промышленности.

Целью данной работы является разработка белково-жировой эмульсии из субпродуктов птицы и оценка её функционально-технологических свойств.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись белково-жировые эмульсии из субпродуктов птицы, приготовленные с использованием куриного жира, куриной кожи, белкового гидролизата и воды по четырём рецептурным вариантам для каждого типа продукции.

В рамках разработки белково-жировой эмульсии на основе куриных субпродуктов были сформированы четыре рецептурных варианта с изменяющимся содержанием куриного жира и гидролизата. Постоянными компонентами служили куриная кожа и вода, обеспечивающие стабильность текстурных и эмульгирующих характеристик. Изменение концентраций жирового компонента и белкового гидролизата позволило оценить их влияние на функционально-технологические свойства готовой эмульсии. В таблице 1 представлены разные варианты рецептуры.

Методика приготовления белково-жировой эмульсии.

Технологический процесс - Подготовка ингредиентов:

В качестве основных компонентов использовались белковый гидролизат, вода, куриная кожа и куриный жир. Все ингредиенты предварительно очищались, а при необходимости - измельчались до требуемого размера.

Обработка куриной кожи:

Куриная шкурка замачивалась в 3%-ном растворе уксусной кислоты при температуре 4-6 °C в течение 12-24 часов. Такая обработка способствовала размягчению соединительных тканей и снижению микробной обсеменённости сырья.

Белковый гидролизат из куриных ног готовили согласно патента № 9667 от 11.10.2024г. Гидролизат предварительно растворяли в воде при температуре 16-18 °С и перемешивали до получения однородной массы. Куриная кожа и куриный жир измельчались на мясорубке до размера частиц 2-3 мм. Гидролизат объединяли с измельчённой куриной шкуркой и жиром. Смесь тщательно перемешивали в течение 1-2 минут до получения однородной эмульсии. Полученную эмульсионную массу охлаждали до температуры 0-4 °С. Время охлаждения составляло 1,5-2 часа для стабилизации текстуры и повышения устойчивости эмульсии. Готовую эмульсию помещали в герметичные контейнеры и хранили при температуре 0-4 °С не более 48 часов.

Таблица 1 - Состав белково-жировой эмульсии

Компоненты	**Вариант рецептуры, %**			
	1	**2**	**3**	**4**
Куриный жир	13,5	14	14,5	15
Куриная шкурка	36,4	36,4	36,4	36,4
Гидролизат	6,8	6,3	5,8	5,3
Вода	43,3	43,3	43,3	43,3
Итого	100	100	100	100

Контрольные испытания проводились через 2-4 часа после приготовления. Оценивались физико-химические показатели, влаго- и жироудерживающая способность, эмульгирующая способность, стабильность эмульсии, активная кислотность (pH), вязкость, напряжение сдвига, а также органолептические характеристики.

Определение активности воды.

Определение активности воды (aw) - с использованием прибора LabTouch-aw (Италия) [10].

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}С [11].

Органолептическая оценка. Органолептическую оценку проводили в соответствии с ГОСТ 31470–2012 [12].

Определение функционально-технологических свойств.

Функционально-технологические свойства белково-жировой эмульсии, такие как влагоудерживающая способность (ВУС), жироудерживающая способность (ЖУС), эмульгирующая способность (ЭС) и стабильность эмульсии (СЭ), определялись по методике Тимошенко и соавторов [13].

Статистический анализ.

Обработку результатов измерений осуществляли с помощью программы Microsoft Excel 2016. Результаты анализов были статистически значимы при $p \leq 0,05$. Данные представлены как среднее значение ± стандартное отклонение.

Обсуждение и результаты. *Исследование активности воды.*

С целью оценки микробиологической устойчивости и стабильности белково-жировых эмульсий, полученных по рецептуре, была проведена регистрация показателей активности воды (aw) в четырёх вариантах образцов. Результаты представлены в таблице 2.

Анализ полученных данных показывает, что активность воды в образцах БЖЭ варьируется в пределах от 0,9798 до 0,9968. Эти значения

характерны для эмульсионных продуктов с высоким содержанием влаги. Показатель aw выше 0,95 свидетельствует о потенциальной возможности роста микроорганизмов, поэтому при производстве и хранении данных эмульсий необходимо строго соблюдать температурный режим и сроки хранения.

Определение активной кислотности среды (pH).

Для оценки кислотности белково-жировых эмульсий, приготовленных по четырём различным вариантам рецептуры, была проведена серия измерений значения pH при комнатной температуре. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 2 - Результаты измерения активности воды в БЖЭ

№ образца	Активность воды
Вариант 1	0,9798
Вариант 2	0,9912
Вариант 3	0,9851
Вариант 4	0,9968

Таблица 3 - Определение концентрации водородных ионов в БЖЭ

Показатель	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
pH	4,82	4,99	4,85	4,82
t, °C	25	22,9	23	21,1

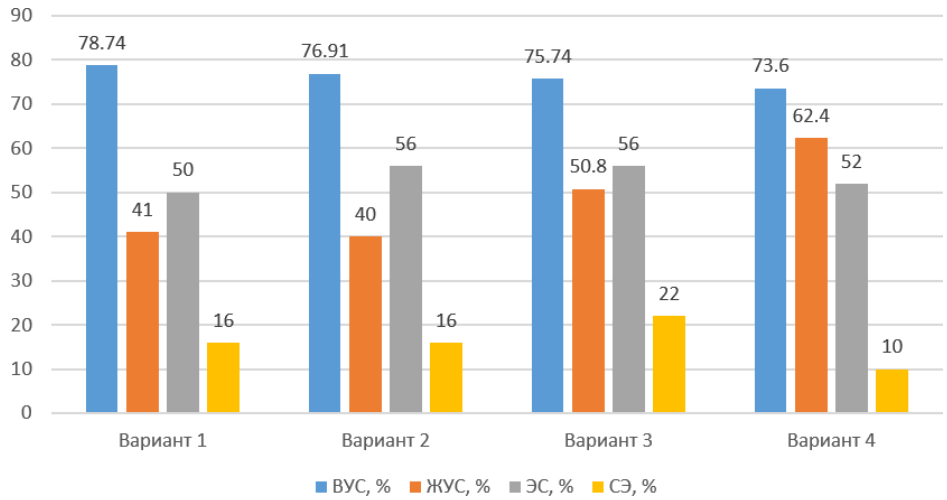


Рис.1 - Экспериментальные данные по различным вариантам БЖЭ

По полученным данным значения pH всех образцов находились в диапазоне 4,82–4,99, что указывает на слабокислую среду в эмульсиях. Незначительные колебания температуры не оказали существенного влияния на итоговые показатели кислотности. Эти значения соответствуют допустимым нормам для мясных эмульсионных систем и обеспечивают микробиологическую стабильность продукта.

Исследование функционально-технологических

свойств белково-жировых эмульсий (БЖЭ). В рамках исследования были проведены испытания по оценке функционально-технологических характеристик разработанных белково-жировых эмульсий (БЖЭ). Анализу подверглись следующие показатели: влагоудерживающая способность (ВУС, %), жироудерживающая способность (ЖУС, %), эмульгирующая способность (ЭС, %) и стабильность эмульсии (СЭ, %). Результаты исследования функционально-технологических свойств БЖЭ приведены в рисунке 1.

Все данные представлены в виде сравнительной диаграммы для четырёх экспериментальных вариантов.

Максимальное значение ВУС зафиксировано у варианта 1 (78,74%), что свидетельствует о высокой способности данной эмульсии связывать воду. По мере перехода к варианту 4 этот показатель постепенно снижался до 73,6%. Показатель ЖУС продемонстрировал рост от 41% (вариант 1) до 62,4% (вариант 4), что указывает на улучшенное удержание жира в последних рецептурах. Эмульгирующая способность (ЭС) возрастала от варианта 1 к вариантам 3 и 4, достигая наибольшего значения 56%. Это свидетельствует о более эффективной стабилизации жира в водной фазе при соответствующей рецептуре. Стабильность эмульсии (СЭ) варьировалась от 10% у варианта 4 до 22% у варианта 3, что указывает на различную степень насыщения эмульсий воздухом, влияющую на консистенцию и текстуру продукта.

На основании полученных данных можно заключить, что варианты 2 и 3 обеспечивают оптимальный баланс между исследуемыми показателями. ни характеризуются высокой влаго- и жироудерживающей способностью, а также хорошей стабильностью и взбиваемостью. Эти рецептуры представляют практический интерес для использования в производстве мясных продуктов.

Органолептическое исследование белково-жировой эмульсии.

В рамках оценки качества разработанных белково-жировых эмульсий (БЖЭ) были проведены органолептические исследования по следующим показателям: внешний вид, консистенция, запах и цвет. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Органолептические показатели БЖЭ

Наименование показателя	**Характеристика**			
	Вариант 1	**Вариант 2**	**Вариант 3**	**Вариант 4**
Внешний вид	Однородная масса светло-кремового цвета	Однородная масса с глянцем	Однородная масса светло-кремового цвета	Однородная масса светло-кремового цвета
Консистенция	Мягкая, умеренно плотная	Более эластичная и плотная	Ещё более густая и пластичная	Плотная, с характерной жирностью
Запах	Умеренный мясной запах	Сильнее выражен аромат куриного жира	Сбалансированный мясной и жировой запах	Ярко выраженный куриный жирный запах
Цвет	Светло-жёлтый с розоватым оттенком	Кремовый	Светло-бежевый	Светло-бежевый

Внешний вид: во всех вариантах эмульсия имела однородную структуру, вариант 2 выделялся наличием глянца, придающего массе привлекательный внешний облик.

Консистенция: с увеличением доли жира наблюдалось повышение плотности и пластичности эмульсии. Вариант 4 имел наиболее плотную текстуру с выраженной жирностью, тогда как вариант 1 характеризовался как мягкий и умеренно плотный.

Запах: у варианта 2 аромат куриного жира выражен сильнее всего. Вариант 3 отличался наиболее сбалансированным мясным и жировым ароматом. Вариант 4 имел ярко выраженный запах куриного жира, а у варианта 1 аромат был умеренным.

Цвет: эмульсии имели светлые оттенки от светло-жёлтого с розоватым подтоном (вариант 1) до светло-бежевого (варианты 3 и 4).

Таким образом, все образцы обладают приемлемыми органолептическими свойствами, а вариант 3 признан наиболее сбалансированным по совокупности признаков.

Результаты исследования показали, что изменения в рецептурном составе БЖЭ оказывают существенное влияние на её физико-химические и органолептические характеристики. Значения активности воды (0,9798-0,9968) указывают на необходимость соблюдения строгих условий хранения для предотвращения микробиологической порчи. Измерения pH (4,82-4,99) свидетельствуют о слабокислой среде, способствующей повышению микробиологической устойчивости эмульсий.

Функционально-технологические свойства изменялись в зависимости от соотношения компонентов. С увеличением доли жира повышалась жироудерживающая способность (от 41 до 62,4%), тогда как влагоудерживающая способность снижалась (от 78,74 до 73,6%). Эмульгирующая способность и стабильность варьировались в пределах 50-56% и 10-22% соответственно, демонстрируя улучшение при оптимальном балансе белка и жира.

Органолептическая оценка показала, что вариант 3 обладает наилучшим сочетанием запаха, консистенции и внешнего вида. Эти данные подтверждают, что рецептуры 2 и 3 обладают наилучшими потребительскими и технологическими характеристиками, обеспечивая стабильность, функциональность и привлекательность продукта.

Выводы. Разработка белково-жировой эмульсии на основе куриной кожи, жира и гидролизата показала высокую эффективность использования побочного сырья птицы. Проведённые исследования подтвердили, что такие эмульсии обладают приемлемыми технологическими и потребительскими характеристиками, а вариант 3 рецептур является оптимальным. Полученные результаты могут быть использованы в производстве мясных изделий с целью снижения себестоимости, расширения ассортимента и внедрения безотходных технологий. Работа представляет практическую ценность для предприятий мясоперерабатывающей отрасли.

Финансирование. *Данные исследования проводились в рамках проекта № BR24992938 - «Научное обоснование, разработка и внедрение прогрессивных технологических процессов, методов и решений комплексной переработки тушек птицы Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан на 2024- 2026 год.*

Литература

1. Дашиева Л. Б. Диссер.Разработка белково-жировой эмульсии для рубленых полуфабрикатов из мяса птицы.Автореферат дис.. канд.техн.наук: 05.18.04. -Улан-Удэ, 2013.- 110 с.

2. Smolinska T., Wieslaw K., Kopec W. Effect of skin addition on the technological properties of comminuted chicken meat emulsions// International Journal of Food Science & Technology. -2007. -Vol.23(5). -P.441 - 446. DOI 10.1111/j.1365-2621.1988.tb00600.x.

3. Суйчинов А.К., Окусханова Э.К., Капашева Г.А., Жүзжасарова Г.Е., Туменов С.Н. Физико-химические показатели мяса курицы и утки и их субпродуктов// Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. -2025. –Т.1(17). -С.179-186. DOI 10.53360/2788-7995-2025-1(17)-23.

4. Мансветова Е. В. Разработка технологии вареных колбасных изделий с использованием белково-жировых эмульсий на основе камедей. Автореферат дис..канд.техн.наук: 05.18.04 –Москва. -2010. -157с.

5. Прянишников В.В. Эмульсия из куриной шкурки в технологиях мясных продуктов // Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. -2016. -№ 5. -С.27-29.

6. Farmani J., Roshani S., Hosseini Gabous H. Physicochemical properties of chicken fat as affected by rendering condition // Advances in Food Sciences. -2016. -Vol.38 (1). -P.35-43.

7. Jamshid F., Mohammadnezhad S. Rheological and functional characterization of gelatin and fat extracted from chicken skin for application in food technology // Food Science and Nutrition. -2025. -Vol.10 (6). -P.1908-1920. DOI 10.1002/fsn3.2807.

8. Жаринов А.И., Юрков С.Г. Технико-технологические аспекты приготовления мясных эмульсий // Мясная индустрия. -2006. -№1. -С. 31-35.

9. Окусханова Э.К., Асенова Б.К., Ребезов М.Б., Есимбеков Ж.С., Зинина О.В. Разработка технологии и рецептуры мясорастительного паштета с применением белкового обогатителя // Вестник Алматинского технологического университета. -2017. -№ 1. -С.51-57.

10. ГОСТ ISO 21807-2015. Микробиология пищевой продукции и кормов. Определение активности воды/М.: Стандартинформ. - 2016. -9 с. https://meganorm.ru/Data2/1/4293754/4293754690.pdf- Дата обращения: 21.05.2025

11. СТ РК ИСО 2917-2009. Мясо и мясные продукты. Определение pH. Контрольный метод/ Астана: Госстандарт Республики Казахстан. -2010. -16 с. http://standarts.nism.gov.kg/uploads/demo/pdf/555e6c26b5edc1e20ca0287aab664679.pdf. Дата обращения 21.05.2025

12. ГОСТ 31470- 2012. Мясо птицы, субпродукты и полуфабрикаты из мяса птицы Методы органолептических и физико-химических исследований/М.: Стандартинформ. -2013. -4 с. https://internet-law.ru/gosts/gost/52629/.*Дата* обращения: 21.05.2025

13. Тимошенко Н. В., Патиевой А. М., Патиевой С. В., Нестеренко А. А., Н.В.Кенийз. Методические указания к лабораторно-практической работе «Идентификация качественного состава мясных изделий» //Краснодар. КубГАУ. -2015 -32 с.

References

1. Dashieva L. B. Disser.Razrabotka belkovo-zhirovoj jemul’ sii dlja rublenyh polufabrikatov iz mjasa pticy.Avtoreferat dis.. kand.tehn.nauk: 05.18.04.-Ulan-Udje, 2013.- 110 c. [in Russian]

2. Smolinska T., Wieslaw K., Kopec W. Effect of skin addition on the technological properties of comminuted chicken meat emulsions// International Journal of Food Science & Technology. -2007. -Vol.23(5). -P.441 - 446. DOI 10.1111/j.1365-2621.1988.tb00600.x.

3. Sujchinov A.K., Okushanova Je.K., Kapasheva G.A., Zhyzzhasarova G.E., Tumenov S.N. Fiziko-himicheskie pokazateli mjasa kuricy i utki i ih subproduktov// Vestnik Universiteta Shakarima. Serija tehnicheskie nauki. -2025. -T.1(17). -S.179-186. DOI 10.53360/2788-7995-2025-1(17)-23.[in Russian]

4. Mansvetova E. V. Razrabotka tehnologii varenyh kolbasnyh izdelij s ispol’ zovaniem belkovo-zhirovyh jemul’ sij na osnove kamedej. Avtoreferat dis..kand.tehn.nauk: 05.18.04 –Moskva. -2010. -157c. [in Russian]

5. Prjanishnikov V.V. Jemul’ sija iz kurinoj shkurki v tehnologijah mjasnyh produktov // Racional’ noe pitanie, pishhevye dobavki i biostimuljatory. -2016. -№ 5. -C.27-29. [in Russian]

6. Farmani J., Roshani S., Hosseini Gabous H. Physicochemical properties of chicken fat as affected by rendering condition // Advances in Food Sciences. -2016. -Vol.38 (1). -P.35-43.

7. Jamshid F., Mohammadnezhad S. Rheological and functional characterization of gelatin and fat extracted from chicken skin for application in food technology // Food Science and Nutrition. -2025. -Vol.10 (6). -P.1908-1920. DOI 10.1002/fsn3.2807.

8. Zharinov A.I., Jurkov S.G. Tehniko-tehnologicheskie aspekty prigotovlenija mjasnyh jemul’ sij // Mjasnaja industrija. -2006. -№1. -S.31-35. [in Russian]

9. Okushanova Je.K., Asenova B.K., Rebezov M.B., Esimbekov Zh.S., Zinina O.V. Razrabotka tehnologii i receptury mjasorastitel’ nogo pashteta s primeneniem belkovogo obogatitelja // Vestnik Almatinskogo tehnologicheskogo universiteta. -2017. -№ 1. -S.51-57. [in Russian]

10. GOST ISO 21807-2015. Mikrobiologija pishhevoj produkcii i kormov. Opredelenie aktivnosti vody/M.: Standartinform. - 2016. -9 s. https://meganorm.ru/Data2/1/4293754/4293754690.pdf- Data obrashhenija: 21.05.2025. [in Russian]

11. ST RK ISO 2917-2009. Mjaso i mjasnye produkty. Opredelenie rN. Kontrol’ nyj metod/ Astana: Gosstandart Respubliki Kazahstan. -2010. -16 s. http://standarts.nism.gov.kg/uploads/demo/pdf/555e6c26b5edc1e20ca0287aab664679.pdf. Data obrashhenija 21.05.2025. [in Russian]

12. GOST 31470- 2012. Mjaso pticy, subprodukty i polufabrikaty iz mjasa pticy Metody organolepticheskih i fiziko-himicheskih issledovanij/M.: Standartinform. -2013. -4 s. https://internet-law.ru/gosts/gost/52629/.Data obrashhenija: 21.05.2025[in Russian]

13. Timoshenko N. V., Patievoj A. M., Patievoj S. V., Nesterenko A. A., N.V.Kenijz. Metodicheskie ukazanija k laboratorno-prakticheskoj rabote «Identifikacija kachestvennogo sostava mjasnyh izdelij» //Krasnodar. KubGAU. -2015 -32 s. [in Russian]

Сведения об авторах

Суйчинов А.К. - ассоц. профессор, PhD, Семейский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Семей Казахстан, e-mail: asuychinov@gmail.com;

Окусханова Э.К. - ассоц. профессор, PhD, НАО «Шәкәрім Университет», Семей, Казахстан, e-mail: eokuskhanova@gmail.com;

Капашева Г.А. - магистр технических наук; Семейский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Семей, Казахстан, e-mail: gena.89.89@mail.ru;

Есимбеков Ж.С. - ассоц. профессор, PhD, Семейский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Семей, Казахстан, e-mail: ezhanibek@mail.ru.

Information about the authors

Suychinov A.K. - assoc. Professor, PhD; Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry (Semey Branch). Semey, Kazakhstan, e-mail: asuychinov@gmail.com;

Okuskhanova E.K. - assoc. Professor, PhD, NJC «Shakarim University», Semey, Kazakhstan, e-mail: eokuskhanova@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;

Yessimbekov Z.S. - assoc. Professor, PhD, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry (Semey Branch). Semey, Kazakhstan, e-mail: ezhanibek@mail.ru.

МРНТИ 65.59.03 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1184**

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЛУКОПЧЁНОЙ КОЛБАСЫ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО ЗАМЕНИТЕЛЯ МЯСА С ДОБАВЛЕНИЕМ ПЛАЗМЫ КРОВИ

Э.Т. Кансейтова, Ж.С. Желеуова, А.Ж. Шиналиева, М.Д. Абишев, И.Р. Садырбаева

Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

Корреспондент-автор: kanseitova@bk.ru

В данной работе представлена разработка технологии полукопчёной колбасы функционального назначения с использованием растительного сырья (соевый изолят и нут) и добавлением плазмы крови убойных животных в качестве компонента животного происхождения. Проведены исследования влияния различных концентраций плазмы крови (1%, 2%, 3%) на пищевую ценность, органолептические, микробиологические и физико-химические показатели колбасных изделий. Установлено, что добавление 2% плазмы крови приводит к умеренному увеличению водосвязывающей способности (ВСС) и водоудерживающей способности (ВУС), а также положительно влияет на органолептические показатели образца. Такое улучшение функционально-технологических свойств происходит за счёт усиления гелеобразования и повышения сочности продукта. Однако при увеличении доли плазмы до 3 % наблюдается чрезмерное уплотнение текстуры, что негативно отражается на потребительских свойствах продукта.

Установлено, что добавление 2% плазмы крови обеспечивает оптимальное соотношение белков, углеводов, влаги и жира, улучшает влагоудерживающую способность и сохраняет стабильную консистенцию продукта. При этом продукт соответствует санитарно-гигиеническим требованиям и сохраняет высокие органолептические характеристики в течение срока хранения. Результаты подтверждают технологическую и биологическую целесообразность использования плазмы крови в составе растительных колбасных изделий для повышения их функциональной и пищевой ценности.

Ключевые слова: плазма крови, соя, нут, полукопченая колбаса, заменитель мяса, растительное сырье.

ӨСІМДІК ТЕКТІ ЕТ АЛМАСТЫРҒЫШЫ ҚОСЫЛҒАН ҚАН ПЛАЗМАСЫМЕН ЖАРТЫЛАЙ ЫСТАЛҒАН ШҰЖЫҚТЫҢ МИКРОБИОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Э.Т. Кансейтова, Ж.С. Желеуова, А.Ж. Шиналиева, М.Д. Абишев, И.Р. Садырбаева

М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,
e-mail: kanseitova@bk.ru

Бұл жұмыста жануар тектес компонент ретінде сойыс малдарының қанының плазмасын қосып, өсімдік текті шикізат (соя изолятты және ноқат) негізінде функционалды мақсаттағы жартылай ысталған шұжық технологиясы әзірленді. Әртүрлі концентрациядағы қан плазмасының (1%, 2%, 3%) шұжық өнімдерінің тағамдық құндылығына, органолептикалық, микробиологиялық және физика-химиялық көрсеткіштеріне әсері зерттелді.

Зерттеу нәтижелері бойынша, 2% қан плазмасын енгізу су байланыстыру (СБҚ) және су ұстау қабілетін (СҰҚ) орташа деңгейде арттырып, органолептикалық қасиеттерін жақсартатыны анықталды. Функционалды-технологиялық көрсеткіштердің мұндай артуы өнімнің гель түзу қабілетінің күшеюімен және шырындылығының жоғарлауымен байланысты. Алайда плазма үлесі 3%-ға дейін арттырылғанда, текстураның шамадан тыс тығыздануы байқалып, бұл өнімнің тұтынушылық қасиеттеріне кері әсер етті.

Осылайша, 2% плазма қосу ақуыздар, көмірсулар, ылғал және майдың оңтайлы арақатынасын қамтамасыз етеді, су ұстау қабілетін арттырады және өнімнің тұрақты консистенциясын сақтайды. Сонымен қатар, шұжық санитарлық-гигиеналық талаптарға сәйкес келеді және сақтау мерзімі бойы жоғары органолептикалық сипаттамаларын сақтайды. Алынған нәтижелер қан плазмасын өсімдік негізіндегі шұжық өнімдерінің құрамында қолданудың технологиялық және биологиялық тұрғыдан мақсатқа сай екенін дәлелдейді.

Түйін сөздер: қан плазмасы, соя, ноқат, жартылай ысталған шұжық, ет алмастырғыш, өсімдік текті шикізат.

STUDY OF MICROBIOLOGICAL AND PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS OF SEMI-SMOKED SAUSAGE MADE FROM A PLANT-BASED MEAT SUBSTITUTE WITH THE ADDITION OF BLOOD PLASMA

E.T. Kanseitova✉, Zh.S. Zheleuova, A.Zh. Shinalieva, M.D. Abishev, I.R. Sadyrbayeva

M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan,
e-mail: kanseitova@bk.ru

This article presents the development of a technology for semi-smoked sausages of functional purpose, based on plant raw materials (soy isolate and chickpea) with the addition of animal-derived plasma. The effect of different concentrations of blood plasma (1%, 2%, 3%) on the nutritional value, organoleptic, microbiological, and physicochemical parameters of sausage products was investigated.

It was found that the addition of 2% blood plasma moderately increased water-binding capacity (WBC) and water-holding capacity (WHC), while also improving the organoleptic characteristics of the samples. This improvement in functional-technological properties is associated with enhanced gel formation and increased juiciness of the product. However, when the plasma content was increased to 3%, excessive texture densification was observed, negatively affecting the consumer qualities of the sausage.

Thus, the addition of 2% plasma ensures an optimal balance of proteins, carbohydrates, moisture, and fat, improves water-holding capacity, and maintains a stable product consistency. At the same time, the sausage meets sanitary and hygienic requirements and retains high organoleptic characteristics throughout its shelf life. The obtained results confirm the technological and biological feasibility of using blood plasma in plant-based sausage products to enhance their functional and nutritional value.

Keywords: blood plasma, soy, chickpea, semi-smoked sausage, meat substitute, plant-based raw materials.

Введение. Современные потребности потребителей и переход на растительные альтернативы замены мяса неуклонно растет в последние несколько лет, как в дальнем, так и в ближнем зарубежье. Растительную альтернативу мясных продуктов производят так, чтобы сымитировать вкус, внешний вид, текстуру, пищевую ценность и белковую основу.

Обеспечение качества и безопасности пищевых продуктов остается одной из приоритетных задач пищевой промышленности и санитарного надзора, новых разработанных изделий. В этой связи исследование микробиологических и физико-химических показателей полукопченой колбасы из растительного заменителя мяса с добавлением плазмы сельскохозяйственных животных представляет собой важное направление в области контроля качества и безопасности пищевых продуктов, способствующее повышению эффективности технологических процессов и защите здоровья населения [1].

Одним из важнейших показателей, определяющих органолептическую оценку и экономическую эффективность производства, является влагоудерживающая (ВУС) и влагосвязывающая (ВСС) способность фарша. Не способность удерживать влагу при внешнем воздействии и степень фиксации влаги в структуре белков на моле-

кулярном уровне, может привести к потере массы при термообработке, ухудшению структуры, сочности и внешнего вида.

Таким образом, результаты исследования микробиологических и физико-химических показателей, влагоудерживающей и влагосвязывающей способности полукопчёной колбасы из растительного заменителя мяса с добавлением плазмы, влияющих на данные характеристики, имеют значение при совершенствовании технологии, повышении качества и конкурентоспособности.

В колбасном производстве используют широкий ассортимент крови убойных животных и ее компонентов, которая является ценным источником животного белка и других необходимых человеку компонентов - жиров, углеводов, ферментов, витаминов и минеральных веществ. Кровь животных содержит 60-70% плазмы и 30-40% взвешенных эритроцитов по весу [2].

По литературным данным плазма – жидкая часть, не содержащая клеток крови [3], содержит 91% воды, 7% белков, 1% минеральных веществ, в ней присутствуют все белки крови, за исключением гемоглобина [4]. При этом в ней содержится более 100 различных белков, из которых наиболее представительными являются сывороточные белки альбумин, γ-глобулины, α-глобулины, β-глобулины и фиброген [5], которые используются из-за различных функциональных свойств [6].

Результаты исследований [7, 8] показывают, что использование белков плазмы крови можно рассматривать как связующее вещество для производства различных пищевых продуктов.

Материалы и методы. Объектами исследования служили опытные образцы полукопчёной колбасы из растительного заменителя мяса с добавлением плазмы сельскохозяйственных животных, основным сырьем которых являлись соя, нут и кровь убойных животных.

Полукопчёная колбаса из растительного заменителя мяса с добавлением плазмы была приготовлена в соответствии с существующими технологическими инструкциями, технологический процесс осуществлялся с соблюдением санитарных правил для предприятий мясной промышленности при первичной обработке растительного сырья (соя, нут) в соотношении 70/30 [9, 10]. Приготовление фарша на растительной основе проводили в мешалке с внесением плазмы (1%, 2%, 3%), добавлением поваренной соли, растительного масла (подсолнечное и кокосовое) и пряностей (перец душистый и кориандр молотый), перемешивая в течение 8-10 мин. Затем наполняли оболочку, обвязывая батоны, после усадки проводили термообработку, сушку, обжарку, варку, охлаждение при температуре 20^{o}С и ниже, копчение проводили при температуре 43±7^{o}С, 12-24 ч, далее проводили сушку и отправляли на хранение.

При разделении фракции цельной крови использовали метод центрифугирования (Stegler CM-300-06, 4000 об/мин, 15 мин) с добавлением антикоагулянта в соотношении 1:10 (4% раствор цитрата натрия и лимонной кислоты).

Влагосвязывающую и влагоудерживающую способность образцов определяли в испытательной лаборатории АО «Алматинский технологический университет», методом прессования и Вартаняна соответственно.

Микробиологическую оценку опытного образца проводили в испытательной лаборатории ТОО «Нутритест» по общепринятым методикам определения БГКП (ГОСТ 31747-2012), сульфитредуцирующих клостридий (ГОСТ 29185-2014) 31746-2012), бактерий вида Staphylococcus aureus (ГОСТ 31746-2012), токсичных элементов (свинец, кадмий (ГОСТ30178-96), мышьяка (ГОСТ 31628-2012), ртуть (ГОСТ 26927-86)), пестицидов, ДДТ и его метаболитов (СТ РК 2011-2010), микотоксинов (ГОСТ 30711-2001).

Определение физико-химических показателей - массовой доли белка (ГОСТ 26889-86), влаги (ГОСТ 9793-2016), жира (ГОСТ 23042-2015) и углеводов (И.М. Скурихин, вып.1, 1978) - опытных образцов проводили по общепринятым методикам.

Обсуждение и результаты. Разработана

технология получения полукопченой колбасы функционального назначения из продуктов животного (плазмы - крови сельскохозяйственных животных) и растительного происхождения (соевый изолят и нут).

В ходе исследования были определены органолептические характеристики полукопченой колбасы из растительного сырья с добавлением плазмы крови убойных животных. Установлено, что добавление плазмы крови в указанных дозировках не оказывало существенного влияния на такие показатели, как внешний вид, вкус и цвет продукта. Эти параметры во всех опытных образцах соответствовали установленным требованиям для данного вида колбасных изделий.

Исследованы пищевая безопасность, микробиологические, органолептические и физико-химические показатели полученных функциональных полукопченых колбас из растительного заменителя мяса.

Исследования пищевой ценности проводили для оценки влияния добавления плазмы крови в различных концентрациях (1%, 2%, 3%), таблица 1.

Таблица 1 - Пищевая ценность полукопченой колбасы из растительного заменителя мяса

Наименование показателей	**Полукопченая колбаса из растительного заменителя мяса (контроль)**	**Полукопченая колбаса из растительного заменителя мяса с добавлением 1% плазмы крови (1 образец)**	**Полукопченая колбаса из растительного заменителя мяса с добавлением 2% плазмы крови (2 образец)**	**Полукопченая колбаса из растительного заменителя мяса с добавлением 3% плазмы крови (3 образец)**
Массовая доля влаги, %	49,95±2,5	47,28±2,36	47,27±2,36	47,3±2,37
Массовая доля жира, %	3,34±0,2	3,39±0,2	4,49±0,67	5,8±0,35
Массовая доля углеводов, %	19,81±1,0	22,69±1,13	22,56±1,13	20,07±1,0
Массовая доля белка, %	16,90±1,0	24,34±1,46	24,49±1,47	24,54±1,47
Энергетическая ценность, ккал	183,99	214,94	215,51	228,08

В таблице 1 представлены данные о влиянии добавления плазмы крови в различных концентрациях (1%, 2%, 3%) на показатели пищевой ценности полукопченой колбасы, изготовленной из растительного заменителя мяса. В качестве контрольного образца выступает продукт без добавления плазмы.

С увеличением доли плазмы крови наблюдается тенденция к снижению массовой доли влаги по сравнению с контрольным образцом от 49,95% в контроле до 47,3% при всех уровнях добавления, что свидетельствует о более плотной структуре продукта за счет увеличения содержания белков и жиров.

Массовая доля жира повышается по мере увеличения дозировки плазмы от 3,34% в контрольной группе до 5,8% при добавлении 3% плазмы, что может быть связано с содержанием липидов в плазме крови.

Содержание углеводов, увеличивается при добавлении 1% и 2% плазмы, однако при добавле-

нии 3% снижается, приближаясь к контрольному значению.

Наиболее значительные изменения наблюдаются в содержании белка с 16,9% в контрольной пробе до 24,54 при добавлении плазмы крови, что свидетельствует об эффективности использования плазмы как белкового обогатителя.

Соответственно энергетическая ценность колбасы возрастает с 183,99 ккал до 228,08 ккал при максимальной концентрации плазмы (3%).

Таким образом, добавление плазмы крови способствует повышению пищевой и энергетической ценности растительной полукопченой колбасы за счет увеличения содержания белка и жира. Добавление плазмы крови привело к росту калорийности продукта, это объясняется увеличением содержания белков в зависимости от концентрации плазмы крови.

Функционально-технологические характеристики опытных образцов описаны в таблице 2.

Таблица 2 - Функционально-технологические характеристики

Наименование показателей	Полукопченая колбаса из растительного заменителя мяса с добавлением 1% плазмы крови (1 образец)	Полукопченая колбаса из растительного заменителя мяса с добавлением 2% плазмы крови (2 образец)	Полукопченая колбаса из растительного заменителя мяса с добавлением 3% плазмы крови (3 образец)
ВСС, %	44,89±0,59	49,38±0,73	54,78±0,73
ВУС, %	42,47±0,55	47,89±0,61	48,92±0,51

По данным таблицы 2, при увеличении содержания плазмы от 1 до 2% наблюдается значительное повышение как ВСС (на 4,49%), так и ВУС (на 5,42%). Максимальные значения ВСС (54,78%) и ВУС (48,92%) зафиксированы при добавлении 3% плазмы.

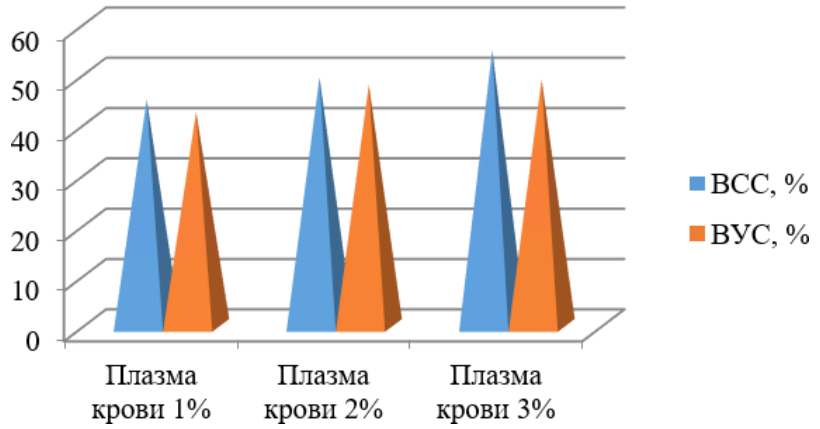


Рис.1 - Диаграмма функционально-технологических характеристик образцов

По данным таблицы 2 и рисунка 1 наблюдается умеренное увеличение ВСС и ВУС, но наблюдается изменение органолептических показателей. Установлено, что добавление 2% плазмы крови приводит к умеренному увеличению водосвязывающей способности (ВСС) и водоудерживающей способности (ВУС), а также положительно влияет на органолептические показатели образца. Такое улучшение функционально технологических свойств происходит за счет усиления гелеобразования и повышения сочности продукта. Однако при увеличении доли плаз-

мы до 3 % наблюдается чрезмерное уплотнение текстуры, что негативно отражается на потребительских свойствах продукта.

Однако влияние добавки плазмы крови прослеживалось в изменении структурно-механических свойств, в частности консистенции ухудшения текстуры продукта, проявляющееся в виде рыхлой консистенции, что может свидетельствовать о нарушении оптимального соотношения компонентов и ухудшении структурной целостности колбасы.

Таблица 3 - Результаты микробиологического исследования и пищевой безопасности

Исследуемый показатель	Результаты исследования
Сульфитредуцирующие клостридии, в 1г	не обнаружено в 1 г продукта
БГКП	не обнаружено в 1 г продукта
бактерии вида Staphylococcus aureus	не обнаружено в 1 г продукта
Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов	$0{,}82 \times 10^3$ КОЕ/г
Свинец	не обнаружено
Кадмий	не обнаружено
Мышьяк	не обнаружено
Ртуть	не обнаружено
Афлатоксин В1	не обнаружено
ГХЦГ (α, β, γ-изомеры)	не обнаружено
ДДТ и его метаболиты	не обнаружено

БГКП (ГОСТ 31747-2012), (ГОСТ 29185-2014) 31746-2012), бактерии вида Staphylococcus aureus (ГОСТ 31746-2012), токсичные элементы (ГОСТ30178-96), (ГОСТ 31628-2012), (ГОСТ 26927-86)), пестициды, ДДТ и его метаболиты (СТ РК 2011-2010).

По результатам микробиологической оценки в опытном образце с добавлением 2% плазмы присутствие БГКП, сульфитредуцирующих клостридии, бактерии вида Staphylococcus aureus, токсичных элементов (свинец, кадмий, мышьяк, ртуть), пестицидов (ГХЦГ (α, β, γ-изомеры), ДДТ и его метаболиты), микотоксинов (афлатоксин B_1) не было выявлено. Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов $0{,}82 \times 10^3$ КОЕ/г, что значительно меньше нормативного показателя

Из выше полученных данных наиболее сбалансированным и технологически целесообразным является добавление двух процентов плазмы крови, при котором достигается оптимальное соотношение органолептических и функционально-технологических характеристик полукопченой колбасы на растительной основе.

Добавление плазмы крови в рецептуру полукопченой колбасы значительно улучшает пищевую и биологическую ценность продукта. Все образцы демонстрируют улучшенные показатели пищевой ценности и могут рассматриваться как альтернатива традиционным мясным ингредиентам с целью повышения белка.

Добавление плазмы крови в количестве 1, 2, 3 % в рецептуру полукопчёной колбасы на растительной основе способствует повышению пищевой и биологической ценности продукта, в частности, увеличению массовой доли белка (до 24,5

%) и энергетической ценности (до 228,08 ккал).

Установлено, что наиболее сбалансированным вариантом с точки зрения функционально-технологических, органолептических и микробиологических показателей является образец с добавлением 2 % плазмы крови. Данный образец демонстрирует влагоудерживающую способность (47,89 %), стабильную консистенцию, отсутствие отклонений по микробиологическим и санитарно-гигиеническим нормам.

Органолептические исследования показали, что внешний вид, вкус и цвет продукта не изменяются при введении плазмы крови, а консистенция ухудшается только при максимальной дозировке (3 %).

Установлено, что добавление 2% плазмы крови приводит к умеренному увеличению водосвязывающей способности (ВСС) и водоудерживающей способности (ВУС), а также положительно влияет на органолептические показатели образца. Такое улучшение функционально-технологических свойств становится возможным за счет усиления гелеобразования и повышения сочности продукта. Однако при увеличении доли плазмы до 3 % наблюдается чрезмерное уплотнение текстуры, что негативно отражается на потребительских свойствах продукта.

Выводы. Результаты, полученные в ходе проведенных исследований, позволяют сделать следующие выводы: установлена возможность и целесообразность использования плазмы крови при производстве полукопчёной колбасы из растительного заменителя мяса.

Проведённые микробиологические испытания образца, где подтверждена безопасность образцов с добавлением 2% плазмы крови, свидетельствуют о том, что продукт пригоден для употребления и соответствует нормативным требованиям.

Таким образом, использование 2% плазмы крови в производстве полукопчёной колбасы из растительного заменителя мяса является оптимальным решением, позволяющим повысить белковую ценность продукта, улучшить его технологические свойства и сохранить безопасность и стабильность в течение срока хранения.

Финансирование. *Данные исследования проводились в рамках проекта AP19679729 «Разработка технологии полукопченой колбасы из растительного заменителя мяса функционального назначения» и финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.*

Литература

1. Ахметова В.Ш., Машанова Н.С. Функционалдык тамактануга арналган к¥рама ет 0німінін технологиясы// Вестник Университета Шакарима.- 2020. -№ 4(92). - С.108-111.

2. Ofori J.A., Yun-Hwa Hsieh P. Issues related to the use of blood in food and animal feed //Critical reviews in food science and nutrition.-2014.- Vol.54(5).- P.687-697. DOI 10.1080/10408398.2011.605229.

3. Zaitsev S. Dynamic surface tension measurements as general approach to the analysis of animal blood plasma and serum // Advances in colloid interface science.- 2016.-Vol.235.-P.201-213. DOI 10.1016/j.cis.2016.06.007.

4. Del Hoyo P., Moure F., Rendueles M., Díaz M. Demineralization of animal blood plasma by ion exchange and ultrafiltration//Meat science.-2007.-Vol.76(3).-P.402-410. DOI 10.1016/j.meatsci.2006.06.014.

5. Tarté R. Meat Protein Ingredients // Woodhead Publishing Limited.- 2011 - Chapter: 4. - P.56-91. DOI 10.1533/9780857093639.56.

6. Clara S.F. Bah, Alan Carne, Michelle A. McConnell, Sonya Mros, Alaa El-Din A. Bekhit, Production of bioactive peptide hydrolysates from deer, sheep, pig and cattle red blood cell

fractions using plant and fungal protease preparations//Food Chemistry.-2016.-Vol.202.-P.458-466. DOI 10.1016/j.foodchem.2016.02.020.

7. Chiroque R. G. S., Santiago H. P. C., Espinoza L. E., Quispe L. A. M., Tirado L. R. P., Villegas L. M. N., Villegas M. A. N., A Review of Slaughterhouse Blood and its Compounds, Processing and Application in the Formulation of Novel Non-Meat Products // Current Research Nutrition and Food Science. -2023.-Vol.11(2).- P.534-548. DOI 10.12944/CRNFSJ.11.2.06

8. Suter D.A., Sustek E., Dill C.W., Marshall W.H., Carpenter Z.L. A method for measurement of the effect of blood protein concentrates on the binding forces in cooked ground beef patties // Journal of Food Science. -1976.-Vol.41 (6).-P.1428-1432. DOI 10.1111/j.1365-2621.1976.tb01188.x

9. Желеуова Ж.С., Кансейтова Э.Т., Тасполтаева А.Р., Балабекова А.С., Қоштаева Г.Е. Өсімдік негізіндегі ет алмастырғыштан жасалған жартылай ысталған шұжықтың аминқышқылдары мен май қышқылдарының құрамын зерттеу// Механика және технологиялар.-2024.- №3(85). - Б.115-127. DOI 10.55956/ZZIV9315

10. Желеуова Ж.С., Шингисов А.У., Тасполтаева А.Р., Кансейтова Э.Т., Бердембетова А.Т. Исследование органолептических показателей и минерального состава полукопченой колбасы из растительного сырья. Вестник Университета Шакарима.-2024.- № 3(15).- С.118-127. DOI 10.53360/2788-7995-2024-3(15)-17.

References

1. Ahmetova V.Sh., Mashanova N.S. Funkcionaldyk tamaktanuga arnalgan kyrama et oniminin tehnologijasy// Vestnik Universiteta Shakarima.- 2020. -№ 4(92). - S.108-111.[in Kazakh]

2. Ofori J.A., Yun-Hwa Hsieh P. Issues related to the use of blood in food and animal feed //Critical reviews in food science and nutrition.-2014.- Vol.54(5).- P.687-697. DOI 10.1080/10408398.2011.605229.

3. Zaitsev S. Dynamic surface tension measurements as general approach to the analysis of animal blood plasma and serum // Advances in colloid interface science.- 2016.-Vol.235.-P.201-213. DOI 10.1016/j.cis.2016.06.007.

4. Del Hoyo P., Moure F., Rendueles M., Díaz M. Demineralization of animal blood plasma by ion exchange and ultrafiltration//Meat science.-2007.-Vol.76(3).-P.402-410. DOI 10.1016/j.meatsci.2006.06.014.

5. Tarté R. Meat Protein Ingredients // Woodhead Publishing Limited.- 2011 - Chapter: 4. - P.56-91. DOI 10.1533/9780857093639.56.

6. Clara S.F. Bah, Alan Carne, Michelle A. McConnell, Sonya Mros, Alaa El-Din A. Bekhit, Production of bioactive peptide hydrolysates from deer, sheep, pig and cattle red blood cell fractions using plant and fungal protease preparations//Food Chemistry.-2016.-Vol.202.-P.458-466. DOI 10.1016/j.foodchem.2016.02.020.

7. Chiroque R. G. S., Santiago H. P. C., Espinoza L. E., Quispe L. A. M., Tirado L. R. P., Villegas L. M. N., Villegas M. A. N., A Review of Slaughterhouse Blood and its Compounds, Processing and Application in the Formulation of Novel Non-Meat Products // Current Research Nutrition and Food Science. -2023.-Vol.11(2).- P.534-548. DOI 10.12944/CRNFSJ.11.2.06

8. Suter D.A., Sustek E., Dill C.W., Marshall W.H., Carpenter Z.L. A method for measurement of the effect of blood protein concentrates on the binding forces in cooked ground beef patties // Journal of Food Science. -1976.-Vol.41 (6).-P.1428-1432. DOI 10.1111/j.1365-2621.1976.tb01188.x

9. Zheleuova Zh.S., Kansejtova Je.T., Taspoltaeva A.R., Balabekova A.S., Қoshtaeva G.E. Өsimdik

negizindegi et almastyrғyshtan zhasalғan zhartylaj ystalғan shұzhyқtyң aminқyshқyldary men maj қyshқyldarynyң құramyn zertteu// Mehanika zhəne tehnologijalar.- 2024.- №3(85). - B.115-127. DOI 10.55956/ZZIV9315. [in Kazakh]

10. Zheleuova Zh.S., Shingisov A.U., Taspoltaeva A.R., Kansejtova Je.T., Berdembetova A.T. Issledovanie organolepticheskih pokazatelej i mineral' nogo sostava polukopchenoj kolbasy iz rastitel' nogo syr' ja. Vestnik Universiteta Shakarima.-2024.- № 3(15).- C.118-127. DOI 10.53360/2788-7995-2024-3(15)-17. [in Russian]

Сведения об авторах

Кансейтова Э.Т.- кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан, e-mail: kanseitova@bk.ru;

Желеуова Ж.С.-PhD, доцент, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан, e-mail: zhozi_tima@mail.ru;

Шиналиева А.Ж. - докторант, Южно-Казахстанский университет им.М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан, e-mail: ainur_09_09@mail.ru; .

Абишев М.Д. - кандидат технических наук, доцент, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан, e-mail: marat.abishev.63@ mail.ru;

Садырбаева И.Р.- старший преподаватель, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан, e-mail: indirasadyrbaeva76@mail.ru.

Information about authors

Kanseitova E.T. - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: kanseitova@bk.ru;

Zheleuova Zh. S. – PhD, Associate Professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: zhozi_tima@mail.ru;

Shinaliyeva A. Zh. - Doctoral Student, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: ainur_09_09@mail.ru;

Abishev M. J. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: marat.abishev.63@ mail.ru;

Sadyrbaeva I. R. - Senior Lecturer, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: indirasadyrbaeva76@mail.ru.

IRSTI 65.59.23 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1119**

STUDY OF THE INFLUENCE OF PLANT-BASED COMPONENTS ON THE PHYSICOCHEMICAL AND ORGANOLEPTIC PROPERTIES OF MEAT PRODUCT

[1]Sh.Y. Kenenbay, [2]M. Korzeniowska, [1]A.N. Tortai, [1]A.S Krasnikov

[1]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan,
[2]Wroclaw University of Environmental and Biological Sciences, Wroclaw, Poland

Corresponding author: sh.kenenbai@atu.edu.kz

The aim of the work was to study the complex of humic-fulvic acids, calamus rhizome and pumpkin seed cake as antioxidants on physicochemical and organoleptic parameters of meat product.The methodology included the application of a factorial experiment design with varying concentrations of plant components, wet salting, heat treatment and evaluation of quality parameters. The results showed that the addition of humic-fulvic acids and calamus rhizome reduced pH and TBA, pumpkin seed cake reduced cooking loss and improved organoleptic properties. The most balanced indicators were recorded in the sample with 3 % of calamus and 0.7 % of humic-fulvic acids: pH - 5.57; TBA - 0.43 mg MDA/kg; Cookloss - 17.01 %; organoleptic score - 4.92. The plant components can be effectively used as antioxidants and acid regulators contributing to the improvement of stability, quality and consumer characteristics of meat products.

Keywords: horse meat, meat roulade, humic-fulvic acids, calamus rhizome, pumpkin seed cake, functional meat product.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЯСНОГО ПРОДУКТА

[1]Ш.Ы. Кененбай, [2]М. Коржениовска, [1]А.Н. Тортай, [1]А.С. Красников

[1]Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан,
[2]Вроцлавский университет природных и биологических наук, г. Вроцлав, Польша,
e-mail: sh.kenenbai@atu.edu.kz

Целью работы было изучение комплекса гуминовых и фульвовых кислот, корневища аира и жмыха тыквенных семечек в качестве антиоксидантов на физико-химические и органолептические показатели продукта из конины. Методология включала применение факторного экспериментального плана с варьированием концентраций растительных компонентов, мокрый посол, термическую обработку и оценку показателей качества. Результаты показали, что добавление гуминовых и фульвовых кислот и корневище аира снижало показательрН и ТВА, а тыквенный жмых уменьшал потери при тепловой обработке и улучшал органолептические свойства. Наиболее сбалансированные показатели были зафиксированы в образце с 3 % аира и 0,7 % гуминовых и фульвовых кислот: рН - 5,57; ТВА - 0,43 мг MDA/кг; потери при варке - 17,01 %; органолептическая оценка - 4,92. Исследование показало, что растительные компоненты могут эффективно использоваться в качестве антиоксидантов, способствующих улучшению стабильности, качества и потребительских характеристик мясных продуктов из конины.

Ключевые слова: конина, мясной рулет, гуминовые и фульвовые кислоты, корневище аира, жмых тыквенных семечек, функциональный мясной продукт.

ӨСІМДІК ТЕКТІ КОМПОНЕНТТЕРДІҢ ЕТ ӨНІМІНІҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ОРГАНОЛЕПТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

[1]Ш.Ы. Кененбай, [2]М. Коржениовска, [1]А.Н. Тортай, [1]А.С. Красников

[1]*Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан,*
[2]*Вроцлав қоршаған орта және тіршілік ғылымдары университеті, Вроцлав, Польша,*
e-mail: sh.kenenbai@atu.edu.kz

Зерттеу жұмысы мақсаты - гуминді және фульвон қышқылдары кешенінің, аир тамыр сабағы мен асқабақ дәні күнжарасының жылқы еті негізіндегі ет өнімінің физика-химиялық және органолептикалық көрсеткіштеріне антиоксидант ретінде әсерін зерттеу болды. Зерттеу әдістемесі өсімдік текті компоненттердің әртүрлі концентрацияларымен факторлық эксперименттік жоспарды қолдануды, дымқыл тұздауды, термиялық өңдеуді және сапа көрсеткіштерін бағалауды қамтыды. Зерттеу нәтижелері гуминді-фульвон қышқылдары мен аир тамыр сабағының қосылуы pH және ТВА көрсеткіштерін төмендететінін көрсетті, ал асқабақ дәні күнжарасы жылумен өңдеу кезіндегі шығынды азайтып, органолептикалық қасиеттерін жақсартты. Ең оңтайлы нәтижелер 3 % аир мен 0,7 % гуминді-фульвон қышқылдары қосылған үлгіде тіркелді: pH - 5,57; ТВА - 0,43 мг MDA/кг; пісіру кезіндегі шығын - 17,01 %; органолептикалық бағалау – 4,92. Зерттеу нәтижелері өсімдік текті компоненттерді жылқы етінен жасалған ет өнімдерінің тұрақтылығын, сапасын және тұтынушылық сипаттамаларын жақсартуға бағытталған тиімді антиоксиданттар ретінде пайдалануға болатынын көрсетті.

Түйін сөздер: жылқы еті, ет рулеті, гуминді-фульвон қышқылдары, аир тамыр сабағы, асқабақ дәні күнжарасы, функционалды ет өнімі.

Introduction. In the conditions of modern food industry increasing attention is paid to the development of functional meat products using natural components with biologically active properties. In this regard, promising directions are the inclusion in the formulation of meat products of plant raw materials with antioxidant, immunostimulating and antimicrobial activity. Such components include acorus calamus rhizome, pumpkin seed cake, as well as a complex of humic and fulvic acids.

Acorus calamus rhizome is a valuable source of biologically active substances, including essential oils (α-asarone, β-asarone), phenolic compounds and glycosides with pronounced antioxidant, antimicrobial and anti-inflammatory activity. Studies by scientist Evdokimov and his colleagues have shown that the addition of calamus extracts to meat products helps to reduce microbial contamination and increase shelf life by inhibiting lipid oxidation [1]. In addition, calamus components have a positive effect on digestion by modulating intestinal microflora and have a carminative effect.

Pumpkin seed cake (Cucurbita pepo L.) is a rich source of dietary fibre (up to 15-20%), proteins (about 30%), polyunsaturated fatty acids, especially linoleic acid, as well as tocopherols and phytosterols. It also contains phenolic compounds with high antioxidant activity that protect lipids from oxidation in meat matrices. A study by scientist Leichtweis and colleagues showed that the use of pumpkin seed cake in meat products helps to increase the overall antioxidant activity, improve the texture and nutritional value of the product [2]. In addition, it reduces the glycemic index and improves the lipid profile of the final product.

Complex of humic and fulvic acids is a bioactive mixture of humic acids, fulvic acids and humins. These substances have a high complexing ability, binding metal ions and improving their bioavailability, which contributes to the trace element enrichment of the meat product. According to studies in recent years, the addition of humic-fulvic acids to poultry diets or meat products contributes to a decrease in lipid oxidation, an increase in the activity of antioxidant enzymes (catalase, glutathione peroxidase) and a decrease in the activity of lipoxygenases [3,4].

In a study by Simakova and her colleagues, scientists emphasize that humic substances can perform a preserving function, increasing the shelf life of poultry meat without the addition of synthetic antioxidants [5]. In the study of the scientist Mao,

it was found to improve the immune status of animals and increase meat productivity, which makes humic-fulvic acids a promising additive for use in the technology of functional meat products [6].

The aim of the present work is to study the effect of humic-fulvic acid complex and calamus rhizome on physicochemical and organoleptic parameters of meat product.

Materials and methods. For the investigation of the impact of plant components on the quality attributes of meat products, horse meat-based roll (roulade) samples were prepared at the Educational and Scientific Center of Meat Processing of the Almaty Technological University.

The following components of plant origin were purchased for the experiment:

- calamus Rhizome - dried crushed raw material with a specific aroma and bitter-spicy flavor;

- complex of humic and fulvic acids ‘T8 Tayga Stone’ - a natural concentrated product containing active humic and fulvic acids with antioxidant properties;

- pumpkin seed cake is a secondary plant product after oil pressing, characterized by a high content of dietary fibre, minerals and antioxidants.

The selection of Acorus calamus rhizome and the complex of humic-fulvic acids was based on their known functional properties, including the potential ability to lower the pH and reduce the thiobarbituric acid (TBA) value, thereby slowing lipid oxidation processes. Additionally, the humic-fulvic acids were expected to contribute to meat tenderness by modifying muscle tissue structure. Pumpkin seed cake was utilized to enhance the sensory profile-specifically flavor and aroma-while simultaneously acting as a barrier coating, thus reducing moisture loss during thermal treatment.

For the study, horse meat was purchased from the local market, which was visually characterised by signs of increased pH, which was confirmed by organoleptic indicators (dark red colour, dry and hard surface and reduced elasticity) indicating possible changes as a result of storage. After acquisition, the meat was subjected to technological operations: cutting, deboning. Next, the meat was cut into 200 g pieces with a weight of about 1 cm thick and prepared for the wet salting process.

A brine base including 1.5 litres of water, 75 g table salt and 0.3 g sodium nitrite was made to prepare the brine. Portions of meat were placed in a specially purchased plastic dish (GN1/6 polypropylene/Schneider/Germany) and poured 100 ml of the prepared brine base. Then, humic-fulvic acid complex and, previously brewed in hot water and cooled to room temperature, calamus rhizome (100 ml) were introduced into the brine. The amount of plant-based components was calculated according to the experimental matrix as a percentage of the meat weight (200 g). The total volume of brine for each sample was 200 ml.

The brining process was carried out at 2 ± 2°C and lasted 24 hours.

After completion of the salting process, the meat samples were removed from the brine and further prepared for heat treatment. The pumpkin seed cake was ground to powder using a nano-crusher (Grindomix GM 200, Retsch, Germany) to obtain a homogeneous fine structure. Then, water was gradually added to the obtained powder, mixing thoroughly until a homogeneous paste-like consistency was achieved, which was convenient for application to the surface of meat.

The obtained paste from pumpkin seeds evenly covered the surface of each meat sample in the amount of 5% of the weight of meat raw material, after which the products were formed in the form of rolls. The prepared rolls were hermetically wrapped in thin aluminium foil and placed in a heat chamber (UK-3\1M100, Techtron+, Russia). Heat treatment was carried out at 110°C until the temperature in centre of the roll reached 78°C, which was monitored using a thermometer with a probe.

After completion of thermal treatment, the rolls were cooled to room temperature (20±2°C) in air. Then the finished samples were placed in storage at refrigerator temperature (2±2°C) until the organoleptic evaluation and laboratory tests aimed at studying the effect of plant components on the quality parameters of the meat product.

Laboratory analyses of the final products were conducted at the accredited testing laboratory “Food Safety” of Almaty Technological University (Certificate accreditation No.KZ. T.02.E1158).

Thiobarbituric acid number (TBA) was determined according to GOST R 55810-2013. The method is based on spectrophotometric measurement of the intensity of colouration arising from the interaction of fat oxidation products with thiobarbituric acid, which allows to assess the degree of oxidative damage of the fat component of meat.

The pH value was determined by potentiometric method. The essence of the method is the direct measurement of hydrogen ion activity using a glass electrode potentiometer, which allows to quickly and accurately determine the acidity of the meat sample under study.

The mass loss of meat samples was calculated from the sample weight values before heat treatment, and the sample weight values after heat treatment. The mass loss reflected the weight of the sample after heat treatment (B) as a percentage of the weight of the sample before heat treatment (A), as shown by the equation below:

$$Cookloss\ (\%) = \left[\frac{A-B}{A}\right] ?100$$

The organoleptic evaluation of the meat product was carried out in accordance with GOST 9959-2015 “Meat and meat products. General requirements for organoleptic evaluation.”The analysis involved 10 employees and master’ s degree students of the Department of Food Technology of Almaty Technological University (Kazakhstan), who are already familiar with the criteria for assessing organoleptic characteristics of products. Participation in the analysis was voluntary and participants provided verbal consent for the sensory evaluation. The assessment took place in a well-ventilated room with adequate lighting and no distractions. Food samples were evenly sliced and chilled to 20°C±2°C, then placed in labeled white plastic plates. For sensory tests, participants used warm water to cleanse the palate between samples to eliminate the influence of the previous evaluation on the next sample. The results of the coded samples were presented as a sensory scale from 0 to 5 points, where 1 point denotes the lowest score and 5 points denotes the highest score. This method involves the systematic assessment of sensory characteristics such as appearance, color, smell, texture, and taste.The overall score was calculated as the arithmetic mean of these five parameters.

This study was carried out using the Black Box method. X_1 - mass fraction of Acorus calamus rhizome (1%, 3%, 5%) and X_2 - mass fraction of humic-fulvic acid complex (0.3%, 0.5%, 0.7%) were selected as variable factors of the experiment. To investigate the effect of these factors on pH and thiobarbituric acid (TBA) values, a second-order fractional-factorial experimental design was applied to obtain reliable results with a limited number of experimental points. From the total number of variants, only samples corresponding to key combinations of variables were physically analyzed. The remaining values were interpolated on the basis of the constructed regression equations reflecting the dependence of the studied indicators on the levels $X_1$and X_2.

All experiments were performed at least three times ($n \geq 3$). Results are presented as «mean±standard deviation» (M±SD).

Values obtained by calculation using multiple regression equations are marked with an asterisk in the tables and graphs to distinguish between measured and modelled data.

The values of meat loss weight after heat treatment and organoleptic characteristics were determined using a full factorial experiment.

Results and discussion. Following the completion of laboratory analyses and the calculation of values using the regression equation, an experimental matrix was constructed containing all values of the resulting factors. (Table 1).

Table 1 - Matrix of factorial experiment with the values of resulting quality indicators of the meat product

Name of samples	X1	X2	Y1	Y2	Y3	Y4
	Calamus Rhizome,%	HF Acidconc.,%	pH	TBA,mg MDA/kg	Cookloss,%	Organoleptic score, points
Sample 1	1	0,3	6,38±0,52	0,55±0,03	18,89±0,14	4,46±0,39
Sample 2	1	0,5	6,36±0,54	0,52*±0,03	25,58±0,15	4,58±0,35
Sample 3	1	0,7	6,34±0,56	0,48±0,03	16,51±0,13	4,65±0,36
Sample 4	3	0,3	5,58*±0,49	0,49*±0,03	19,63±0,13	4,79±0,37
Sample 5	3	0,5	5,82±0,45	0,50±0,03	21,5±0,12	4,84±0,35
Sample 6	3	0,7	5,57*±0,42	0,43±0,03	17,01±0,13	4,92±0,34
Sample 7	5	0,3	4,67±0,38	0,41±0,03	16,82±0,15	4,16±0,38
Sample 8	5	0,5	4,74*±0,36	0,38*±0,03	13,86±0,13	4,25±0,41
Sample 9	5	0,7	4,68±0,31	0,33±0,02	14,42±0,12	4,37±0,37
Control sample	0	0	6,58±0,56	0,39±0,02	33±0,21	3,91±0,35
Note: * - values calculated using the regression equation						

Surface Plot of Y_1(pH) against X_1(Calamus Rhizome) and X_2(HF Acid conc.) is shown in Figure 1.

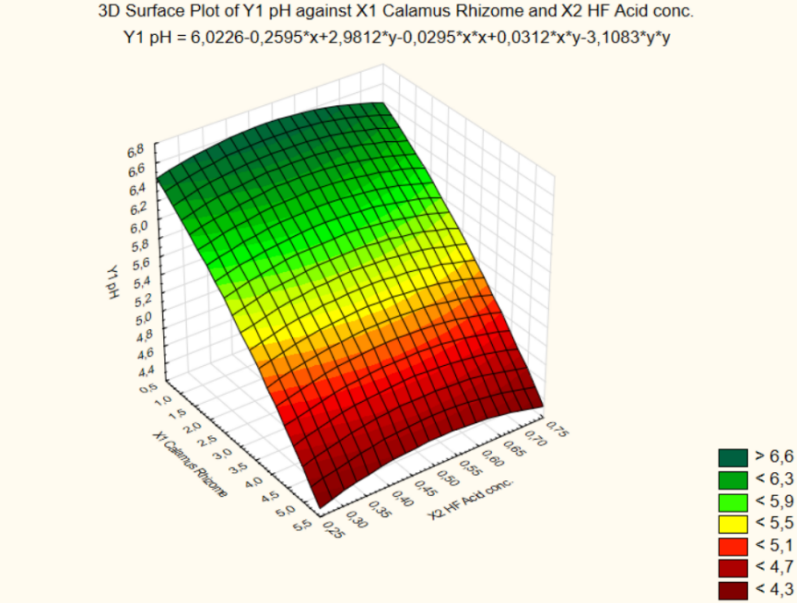


Fig.1 - 3D Surface Plot of Y_1(pH) against X_1(Calamus Rhizome) and X_2(HF Acid conc.)

The regression equation for Y_1(pH) as a function of X_1 (Calamus Rhizome) and X_2 (HF Acid conc.):

$Y_1(pH) = 6,7469-0,3417X_1 + 0,3698X_2 - 0,0229X^2_1 + 0,1088X_1X_2 - 0,7985X^2_2$

Regression model performance metrics:R^2 = 0,9732; R^2_adj = 0,9334;MS_e = 0,0516;

The response surface analysis (Figure 1) shows that the value of Y_1 (pH) decreases systematically with increasing levels of factors X_1 (Calamus Rhizome) and X_2 (HF Acid concentration). The maximum pH value (6,58) is observed at zero values of the factors, i.e. in the control sample. The minimum pH values (4,68) were recorded at maximum additive dosages of X_1 = 5% and X_2 = 0.7% ($p<0,05$).

As the doses of both X_1 and X_2 increase, a stable and progressive decrease in pH value is observed. And the greatest dynamics of decrease is fixed at simultaneous increase of both factors. This indicates a synergistic effect of plant components aimed at acidification of the medium. In the technological context, this can be a positive factor, since a controlled decrease in pH improves the stability of the product and affects its structural and mechanical properties.

Surface Plot of Y_2(TBA) against X_1(Calamus Rhizome) and X_2(HF Acid conc.) is shown in Figure 2.

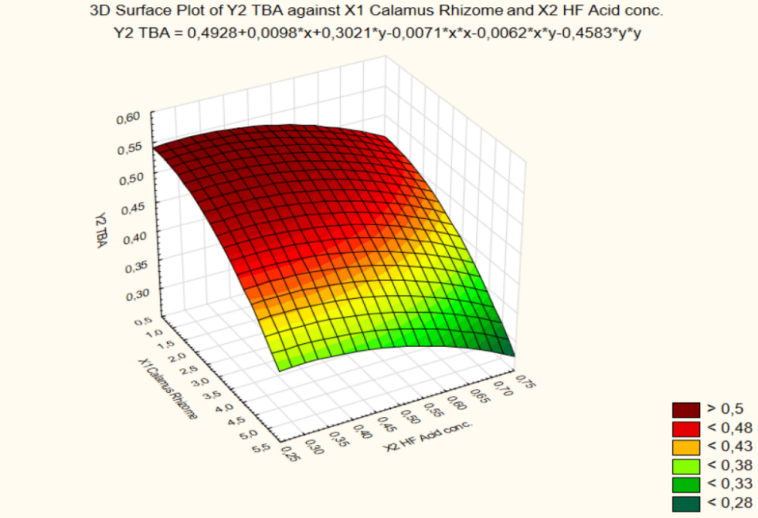


Fig.2 - 3D Surface Plot of Y_2(TBA) against X_1(Calamus Rhizome) and X_2(HF Acid conc.)

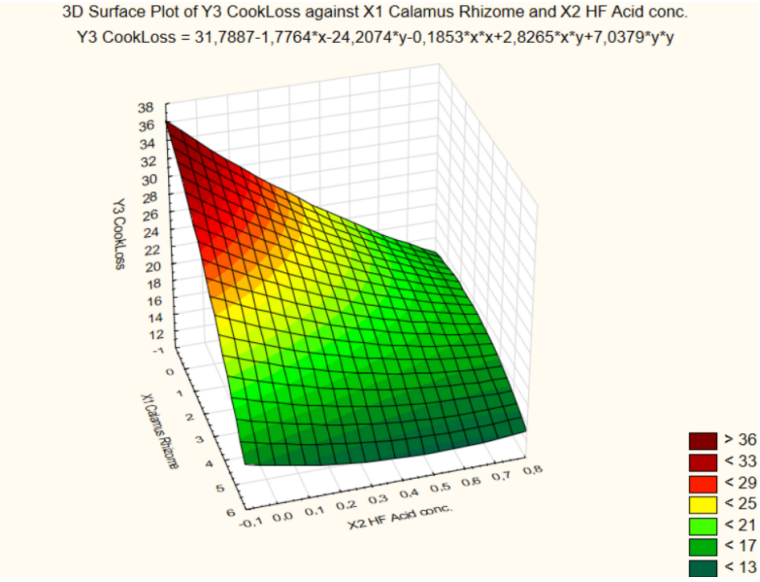


Fig.3 - 3D Surface Plot of Y_3(CookLoss) against X_1(Calamus Rhizome) and X_2(HF Acid conc.)

The regression equation for Y_2(TBA) as a function of X_1 (Calamus Rhizome) and X_2 (HF Acid conc.):

Y_2 (TBA) = 0,3945 + 0,021X_1 + 0,6567X_2 - 0,008X^2_1 - 0,0168X_1X_2 - 0,772X^2_2

Regression model performance metrics:R^2 = 0,9434; R^2_adj = 0,9116;MS_e = 0,0484;

Response surface analysis (Figure 2) demonstrates that the Y_2 value (TBA) decreases with increasing concentrations of X_1 (Calamus Rhizome) and X_2 (HF Acid conc.). According to the experimental matrix data, the maximum value of TBA is 0,55 mg MDA/kg and it was recorded in sample 1 at minimum levels of factors (X_1 = 1%, X_2 = 0.3%). The minimum TBA value of 0,33 mg MDA/kg is observed in sample 9 at maximum values of X_1 = 5% and X_2 = 0.7% ($p<0,05$).

The response surface has a steady downward profile reflecting a progressive decrease in lipid oxidation rate as the concentrations of plant components increase. The most pronounced decrease of Y_2 values is observed at simultaneous increase of both factors, which indicates their combined influence on the TBA indicator.

Surface Plot of Y_3(CookLoss) against X_1(Calamus Rhizome) and X_2(HF Acid conc.) is shown in Figure 3.

The regression equation for Y_3(CookLoss) as a function of X_1 (Calamus Rhizome) and X_2 (HF Acid conc.):

Y_3(CookLoss) = 31,7887 - 1,7764X_1 - 24,2074X_2 - 0,1853X^2_1 + 2,8265X_1X_2 + 7,0379X^2_2

Regression model performance metrics:R^2 = 0,9816; R^2_adj = 0,9636;MS_e = 0,0476;

The analysis of the response surface reflecting the dependence of the mass loss index after heat treatment (Y_3, Cookloss) on the concentrations of calamus rhizome (X_1) and humic-fulvic acid complex (X_2) shows a clear tendency to decrease the values of Y_3 with increasing levels of the studied factors. The maximum weight loss was recorded in the control sample (X_1 = 0%, X_2 = 0%) and was 33.00%, indicating significant moisture loss in the absence of vegetable additives. The minimum Cookloss value was observed at the maximum levels of both factors, X_1 = 5% and X_2 = 0.5-0.7%, and was 13.42-13.86% (samples 8 and 9) ($p<0,05$).

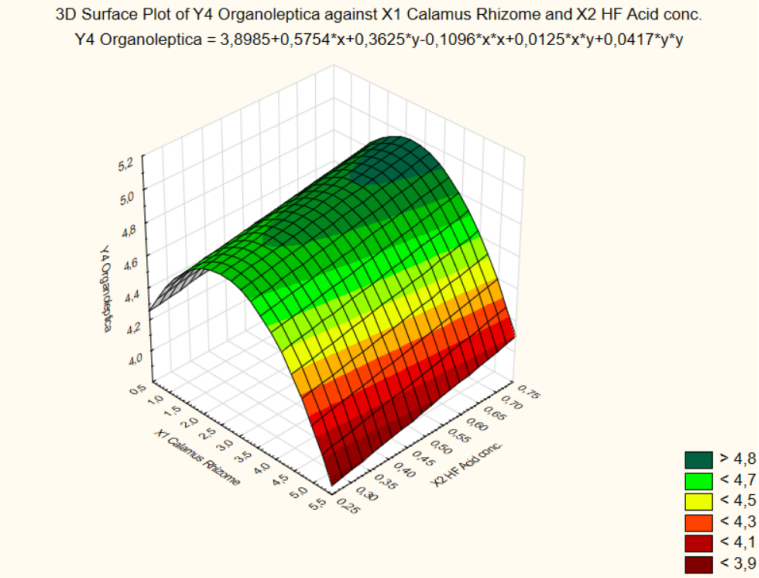


Fig.4 - 3D Surface Plot of Y_4(Organoleptic) against X_1(Calamus Rhizome) and X_2(HF Acid conc.)

The response surface is characterised by a uniform decrease in mass loss as the dosages of both X_1 and X_2 increase. A particularly pronounced decrease is observed in the region of

high concentrations of humic-fulvic acids, which confirms their contribution to moisture retention in the structure of the meat product. The model shows a stable negative relationship between the level of vegetable additives and weight loss, indicating an improvement in the moisture retention capacity of the meat semi-finished product when they are used.

Surface Plot of Y_4(Organoleptic) against X_1(Calamus Rhizome) and X_2(HF Acid conc.) is shown in Figure 4.

The regression equation for Y_4(Organoleptic) as a function of X_1 (Calamus Rhizome) and X_2 (HF Acid conc.):

Y_4 (Organoleptic) = 3,9095 + 0,5742X_1 + 0,3228X_2 - 0,1095X^2_1 + 0,0137X_1X_2+ 0,0768X^2_2

Regression model performance metrics:R^2 = 0,9524; R^2_adj = 0,9126;MS_e = 0,0541;

Analysis of the response surface (Figure 4) illustrating the dependence of organoleptic score (Y_4) on the concentrations of aira rhizome (X_1) and humic-fulvic acids (X_2) showed the presence of a clearly defined optimum. The maximum value of Y_4 was 4,92 points and was observed in sample 6 at X_1 = 3% and X_2 = 0.7%. The minimum value of organoleptic evaluation, 3,91 points, was recorded in the control sample (X_1 = 0%, X_2 = 0%) where there were no plant additives ($p<0,05$).

The response surface has a dome-shape, indicating the presence of a region of optimal values of the factors. At low levels of X_1 and X_2, the meat was characterised by a tough consistency and poor flavour, which is reflected in a low consumer evaluation. On the contrary, at excessive dosages of vegetable components (in particular, X_1 = 5%), a sour and bitter flavour was observed, caused by the saturation of the product with biologically active compounds, which also reduced the overall perception. The highest organoleptic indices corresponded to medium levels of factors. At these ratios, the product was characterised by a balanced flavour, moderate textural tenderness and harmonious aroma.

The joint decrease in pH and TBARS achieved by combining the HFA complex with Acorus calamus rhizome is consistent with two complementary chemical levers – polyprotic acid donation and transition-metal chelation. Humic/fulvic matrices are rich in carboxyl and phenolic sites that both release H (lowering pH and shifting buffers) and sequester Fe^{2} /Fe^{3} , Cu^{2} , curbing metal-catalysed initiation of lipid peroxidation [7-9]. Likewise, Klein O.I. et al. systematically demonstrated that humic materials display peroxyl-radical scavenging linked to their phenolic/carboxyl functionality, supporting the dual proton-donor/chelator role [10].

From the perspective of oxidation control, TBARS reduction follows the canonical pathway in which iron catalysis governs initiation and propagation in muscle lipids. In technologically similar emulsion systems, Jittrepotch N. et al. showed that the chelator EDTA suppresses non-heme-iron-catalysed oxidation in sausages, highlighting that metal control alone can substantially depress TBARS. HFA in research provides a natural chelation platform with added acidity to modulate the matrix environment [11]. Consistently, the review by Bellucci E.R.B. et al. collates multiple meat-product studies where phenolic extracts lower TBARS via radical scavenging and partial metal binding, a mode that parallels the HFA + calamus pairing [12].

The acidifying effect observed is attributable to the polyprotic nature of humic/fulvic structures (multiple pK_a domains) and the phenolic pool in calamus. Proton release reduces the effective buffer capacity of the meat system and can reposition protein solubility relative to the myofibrillar isoelectric region-mechanistic features consistent with the spectroscopy-guided view of humic reactivity [13]. In parallel, Parki A. et al. documented that *A. calamus* essential oil compositions vary seasonally yet retain pronounced radical-quenching potential, aligning with our use of calamus as a phenolic proton source and antioxidant partner to HFA [14].

Regarding the pumpkin seed cake, our findings reflect the well-known trade-off between matrix-level water binding and PUFA enrichment. The cake’s dietary fibres and proteins create capillary and gel-type binding sites that limit thermal drip,

which rationalises the cooking-loss decrease. At the same time, the high linoleic (ω-6) fraction heightens the oxidative liability unless antioxidant protection is present [15]. Likewise, Öztürk & Turhan reported that pumpkin seed kernel flour used in beef meatballs improved cooking yield but altered TBARS dynamics during storage due to PUFA enrichment [16]. Similarly, Gadekar Y.P. et al. summarised that 3% pumpkin seed flour can replace fat and improve yield while necessitating oxidation management-a balance we achieve here by coupling the cake with HFA + calamus [17].

The additional TBARS decrease when calamus accompanies HFA is credibly ascribed to polyphenolic radical quenching that complements HFA chelation [18]. In concordance, Dinev T. et al. showed strong antioxidant capacity for methanolic *A. calamus* extracts, and clinical-pharmacognosy summaries note potent DPPH and β-carotene/linoleate antioxidant activity for calamus essential oil-evidence that translates to meat systems where lipid-radical propagation drives TBARS accumulation. Thus, our dual-mode intervention (chelation + radical quenching) mirrors the combined strategies that outperform single-mode antioxidants in comminuted meats [19].

On sensory and yield, the net improvement at moderate calamus levels is consistent with phenolic–protein network effects and matrix water immobilisation: modest phenolic inputs can tighten the heat-set network without introducing off-notes, while the cake's fibres/proteins supply structural water binding that offsets the pH-induced shift toward lower WHC. Likewise, de Melo F.A.B. et al. reported that pumpkin-derived solids enhance yield in burger systems at practical inclusion levels, provided that oxidation is actively managed—a condition satisfied in our design by the HFA + calamus synergy [20].

Based on data from technological regulatory documents for meat products, quality parameter limits were established to ensure an optimal balance between safety, stability, and organoleptic characteristics. In particular, the optimal pH range was determined to be 5.6–6.0, which provides both safety and acceptable texture. The threshold value for TBA should not exceed 0.5 mg MDA/kg, as higher values indicate the development of oxidative processes. Cook loss should be minimized, as it directly affects the juiciness and yield of the final product. Conversely, the organoleptic score should approach the maximum level, reflecting the flavor, aroma, and texture perceived by consumers. According to the combined assessment of all four parameters, the best result was obtained for Sample 6, which contained 3% Acorus calamus rhizome and 0.7% humic-fulvic acid complex: pH - 5.57, TBA - 0.43 mg MDA/kg, cook loss - 17.01%, and organoleptic score - 4.92, making it the optimal formulation in terms of the qualitative characteristics of the meat product.

Conclusion. The results of this study clearly demonstrate the high effectiveness of plant-based components-acorus calamus rhizome, a humic-fulvic acid complex, and pumpkin seed press cake—in the production of meat products. It was established that the addition of the humic-fulvic acid complex and Acorus calamus rhizome enables controlled reduction of pH and TBA due to their acidic, chelating, and antioxidant properties, thereby strengthening oxidative and physicochemical stability of the product.The pumpkin seed press cake exhibited functional and technological properties as a moisture-retaining matrix, significantly reducing mass loss and improving flavor and aroma characteristics.

Based on the integrated analysis of all measured parameters and considering the established technological limits, the sample containing 3% Acorus calamus rhizome and 0.7% of the humic-fulvic acid complex, with the following values: pH - 5.57, TBA - 0.43 mg MDA/kg, cook loss - 17.01%, and organoleptic score - 4.92 was identified as the optimal formulation.

For a comprehensive assessment of the functionality of the studied plant components, further research is needed to investigate the stability of the meat product during storage, including the dynamics of changes in acid, peroxide, and thiobarbituric values over time. The current findings confirm the antioxidant potential of Acorus calamus rhizome and the humic-fulvic acid complex, justifying their application as natural inhibitors of oxidative processes in meat products.

References

1. Evdokimov N. S., Kalmanovich S. A., Ivanova T. N. Vliyanie termicheskoi obrabotki na antioksidantnuyu aktivnost’ ingredientov kompozitsionnoi smesi dlya plavlenykh syrov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya.- 2019.-№ 4(370).- S.23-27. DOI 10.26297/0579-3009.2019.4.6. [in Russian]

2. Leichtweis M. G., et al. Biological activity of pumpkin byproducts: Antimicrobial and antioxidant properties //Molecules. -2022.-Vol. 27(23):8366. DOI 10.3390/molecules27238366.

3. Semjon B., et al. Multiple factorial analysis of physicochemical and organoleptic properties of breast and thigh meat of broilers fed a diet supplemented with humic substances // Poultry Science. - 2020.-Vol. 99(3). - P.1750 -1760. DOI 10.1016/j.psj.2019.11.012.

4. Disetlhe A.R.P. et al. Effects of dietary humic acid and enzymes on meat quality and fatty acid profiles of broiler chickens fed canola-based diets // Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. - 2019. - Vol.32(5).- P.711-720. DOI 10.5713/ajas.18.0408.

5. Simakova I.V., et al. Role of humic substances in formation of safety and quality of poultry meat //Humic Substances. IntechOpen. - 2021. -P.55-72. DOI 10.5772/intechopen.96595.

6. Mao Y. Modulation of the growth performance, meat composition, oxidative status, and immunity of broilers by dietary fulvic acids // Poultry Science.-2019. -Vol.98(10). - P.4509-4513. DOI 10.3382/ps/pez281.

7. Akaichi A., et al. Effects of humic acid and organic acids supplements on performance, meat quality, leukocyte count, and histopathological changes in spleen and liver of broiler chickens // Research in Veterinary Science.-2022.-Vol.150.-P.179-188. DOI 10.1016/j.rvsc.2022.07.001.

8. Bai H.X., et al. Effects of fulvic acid on growth performance and meat quality in growing-finishing pigs // Livestock Science. -2013. -Vol.158(1-3).- P.118-123. DOI 10.1016/j.livsci.2013.10.013.

9. Velichkova K., Sirakov I., Valkova E. The effect of sweet flag (Acorus calamus L.) supplemented diet on growth performance, biochemical blood parameters and meat quality of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss W.) and growth of lettuce (Lactuca sativa L.) cultivated in aquaponic recirculation system // Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation. -2020. -Vol.13(6). -P.3840-3848.

10. Klein O. I., et al. A systematic study of the antioxidant capacity of humic substances against peroxyl radicals: Relation to structure //Polymers. -2021. -Vol.13 (19):3262. DOI 10.3390/polym13193262.

11. Jittrepotch N., Ushio H., Ohshima T. Effects of EDTA and a combined use of nitrite and ascorbate on lipid oxidation in cooked Japanese sardine (Sardinops melanostictus) during refrigerated storage //Food chemistry. -2006. -Vol.99 (1). –P.70-82. DOI 10.1016/j.foodchem.2005.07.021.

12. Bellucci E. R. B., et al. Addition of natural extracts with antioxidant function to preserve the quality of meat products //Biomolecules. -2022. -Vol 12 (10):1506. DOI 10.3390/biom12101506.

13. Domínguez-Negrete A., et al. Effect of the addition of humic substances as growth promoter in broiler chickens under two feeding regimens//Animals. -2019. -Vol.9(12):1101. DOI 10.3390/ani9121101.

14. Parki A., et al. Seasonal variation in essential oil compositions and antioxidant properties of Acorus calamus L. accessions //Medicines. -2017. -Vol.4 (4):81. DOI 10.3390/medicines4040081.

15. Nikolić I., et al. Possibility of the production of functional low-fat food spread of hull-less pumpkin seed flour from rheological and textural aspect // Journal of Texture Studies. -2014. -Vol.45(4). - P. 324-333. DOI 10.1111/jtxs.12078.

16. Öztürk T., Turhan S. Physicochemical properties of pumpkin (Cucurbita pepo L.) seed kernel flour

and its utilization in beef meatballs as a fat replacer and functional ingredient //Journal of food processing and preservation. – 2020. – Vol.44 (9): e14695. DOI 10.1111/jfpp.14695.

17. Gadekar Y. P., et al. Utilisation of pumpkin seed (Cucurbita maxima) as a meat matrix preservative: Influence on colour and lipid stabilities //Meat Science. -2025. -Vol.223: 109769. DOI 10.1016/j.meatsci.2025.109769.

18. Liu L., et al. Effects of fulvic acid on broiler performance, blood biochemistry, and intestinal microflora // Poultry Science.- 2024. -Vol.103(2):103273. DOI 10.1016/j.psj.2023.103273.

19. Dinev T., et al. Antifungal and antioxidant potential of methanolic extracts from Acorus calamus L., Chlorella vulgaris Beijerinck, Lemna minuta Kunth and Scenedesmus dimorphus (Turpin) Kützing //Applied Sciences. -2021. -Vol.11 (11): 4745. DOI 10.3390/app11114745.

20. de Melo F. A. B. R., et al. Development and evaluation of nutritional and quality standard of beef burger supplemented with pumpkin (Cucurbita moschata) seed flour //Foods. -2024. -Vol.13 (11): 1702. DOI 10.3390/foods13111702.

Information about the authors

Kenenbay Sh.Y.- Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: sh.kenenbai@atu.edu.kz;

Korzeniowska M. - Doctor of Science, Professor, Wrocław University of Environmental and Biological Sciences, Wrocław, Poland, e-mail: malgorzata.korzeniowska@upwr.edu.pl;

Tortai A.N. - Master of Technical Sciences, PhD student, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: tortay.arsen@gmail.com;

Krasnikov A.S.-Master’s student, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: krasnikovsasha98@gmail.com.

Сведения об авторах

Кененбай Ш.Ы. - кандидат технических наук, доцент, ассоциированный профессор, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: sh.kenenbai@atu.edu.kz;

Корженiовска М. - доктор наук (Dr. of Sc.), профессор, Вроцлавский университет природных и биологических наук, Вроцлав, Польша, e-mail: malgorzata.korzeniowska@upwr.edu.pl;

Тортай А.Н. - магистр технических наук, докторант, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: tortay.arsen@gmail.com;

Красников А.С. - магистрант, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: krasnikovsasha98@gmail.com.

ҒТАМР 65.29.33 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1237**

ЖАРМА ДАҚЫЛДАРЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН ҚҰРҒАҚ ТАҢҒЫ АСТЫҢ САПАСЫ МЕН ТАҒАМДЫҚ ҚАУІПСІЗДІГІ

М.Ж. Султанова, Ф.З. Сеитова

Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан

Корреспондент-автор: sultanova.2012@mail.ru

Қазіргі таңда функционалдық және диеталық тағам өнімдерін өндіру тағам өнеркәсібінің негізгі даму бағыттарының бірі болып отыр. Дәнді дақылдар негізіндегі құрғақ таңғы ас өнімдері кеңінен қолданысқа ие, себебі олар жеңіл дайындалады, қоректік құндылығы жоғары және әртүрлі жас топтарына қолайлы. Дегенмен дәстүрлі дәнді өнімдердің витаминдік-минералдық құрамы шектеулі болғандықтан, олардың биологиялық құндылығын арттыру үшін өсімдік текті қоспаларды қолдану өзекті мәселе болып табылады.

Бұл жұмыста дәнді дақылдар негізінде (күріш, жүгері, арпа) дайындалған және өсімдік қоспаларымен (сәбіз және қызылша ұнтағы) байытылған құрғақ таңғы ас өнімдерінің сапасы мен тағамдық қауіпсіздігі зерттелді. Экструзиялық өңдеу оңтайлы параметрлерде жүргізілді: температура-170 °С, ылғалдылық-18 %, бұранда айналу жылдамдығы – 180 айн/мин. Зерттеу нәтижелері бақылау үлгісімен салыстырғанда тәжірибелік нұсқаларда ақуыз (7,82 %-дан 8,49 %-ға дейін), көмірсулар (72,6 %-дан 75,07 %-ға дейін) және дәрумендердің (B_1, B_2, B_3, B_6, С) деңгейі айтарлықтай артқанын көрсетті. Минералдық құрам бойынша кальций, магний, калий және темір мөлшері едәуір жоғарылады. Токсикологиялық және радиологиялық бақылау нәтижелері ауыр металдар (Pb, Cd, As, Hg) мен радионуклидтердің (K-40, Cs-137) анықталмағанын көрсетті, бұл өнімнің толық санитарлық қауіпсіздігін дәлелдеді.

Зерттеу нәтижелері сәбіз және қызылша ұнтақтарының қосылуы құрғақ таңғы ас өнімдерінің тағамдық құндылығын және профилактикалық маңызын арттыратынын көрсетті. Алынған өнімдер санитарлық-гигиеналық талаптарға толық сәйкес келеді және функционалдық, диеталық тамақтану үшін перспективті болып табылады.

Түйін сөздер: құрғақ таңғы ас, жарма дақылдары, экструзия, сәбіз ұнтағы, қызылша ұнтағы, тағамдық құндылық, витаминдік құрам, минералдық құрам, тағамдық қауіпсіздік.

КАЧЕСТВО И ПИЩЕВАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СУХИХ ЗАВТРАКОВ НА ОСНОВЕ КРУПЯНЫХ КУЛЬТУР

М.Ж. Султанова, Ф.З. Сеитова

Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан,
e-mail: sultanova.2012@mail.ru

В настоящее время производство функциональных и диетических пищевых продуктов является одним из основных направлений развития пищевой промышленности. Продукты сухих завтраков на основе зерновых культур широко применяются, так как они легко готовятся, обладают высокой пищевой ценностью и подходят для различных возрастных групп. Однако, витаминно-минеральный состав традиционных зерновых продуктов ограничен и использование растительных добавок для повышения их биологической ценности является актуальной задачей.

В данной работе исследованы качество и пищевая безопасность сухих завтраков, приготовленных на основе зерновых культур (рис, кукуруза, ячмень) и обогащённых растительными добавками (морковный и свекольный порошки). Экструзионная обработка проводилась при оптимальных параметрах: температура-170 °С,влажность-18 %, скорость вращения шнека-180 об/мин. Результаты исследования показали, что по сравнению с контрольным образцом в опытных вариантах

значительно повысилось содержание белка (с 7,82 % до 8,49 %), углеводов (с 72,6 % до 75,07 %) и витаминов (B_1, B_2, B_3, B_6, C). Минеральный состав также улучшился: увеличилось количество кальция, магния, калия и железа. Токсикологический и радиологический контроль показал отсутствие тяжёлых металлов (Pb, Cd, As, Hg) и радионуклидов (K-40, Cs-137), что подтверждает полную санитарную безопасность продукта.

Результаты исследования показали, что добавление морковного и свекольного порошков повышает пищевую и профилактическую ценность сухих завтраков. Полученные продукты полностью соответствуют санитарно-гигиеническим требованиям и являются перспективными для применения в функциональном и диетическом питании.

Ключевые слова: сухие завтраки, зерновые культуры, экструзия, морковный порошок, свекольный порошок, пищевая ценность, витаминный состав, минеральный состав, пищевая безопасность.

QUALITY AND FOOD SAFETY OF DRY BREAKFASTS BASED ON CEREALS

M.Zh. Sultanova✉, F.Z. Seitova

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: sultanova.2012@mail.ru

Currently, the production of functional and dietary food products is one of the main directions in the development of the food industry. Ready-to-eat breakfast cereals based on grain crops are widely consumed due to their ease of preparation, high nutritional value, and suitability for different age groups. However, the vitamin and mineral composition of traditional cereal products is limited, which makes the use of plant-based additives to enhance their biological value a relevant task.

This study investigated the quality and food safety of breakfast cereals prepared from grain crops (rice, corn, barley) and enriched with plant additives (carrot and beetroot powders). Extrusion processing was carried out under optimal parameters: temperature – 170 °C, moisture – 18 %, screw speed – 180 rpm. The results demonstrated that, compared to the control sample, the experimental formulations showed significant increases in protein (from 7.82 % to 8.49 %), carbohydrates (from 72.6 % to 75.07 %), and vitamins (B_1, B_2, B_3, B_6, C). The mineral profile was also improved with elevated levels of calcium, magnesium, potassium, and iron. Toxicological and radiological analyses confirmed the absence of heavy metals (Pb, Cd, As, Hg) and radionuclides (K-40, Cs-137), thereby proving the complete sanitary safety of the products.

The findings indicate that the incorporation of carrot and beetroot powders enhances the nutritional and preventive value of breakfast cereals. The developed products fully comply with sanitary and hygienic requirements and are promising for use in functional and dietary nutrition.

Keywords: breakfast cereals, grain crops, extrusion, carrot powder, beetroot powder, nutritional value, vitamin composition, mineral composition, food safety.

Кіріспе. Қазіргі уақытта әлемдік тағам өнеркәсібінде функционалды және диеталық өнімдерге сұраныс артып келе жатыр. Бұл тенденция халық арасында пайдалы, теңдестірілген және дайын тағамдарға сұраныстың артуымен байланысты. Бұл өнімдердің ішінде жоғары деңгейде дайындалған таңғы ас өнімдері ерекше орын алады. Олар қолжетімділігімен, ыңғайлылығымен және әртүрлі жас топтарына бейімделуімен сипатталады [1].

Дегенмен, дәстүрлі жарма негізіндегі таңғы ас өнімдерінің витаминдік және минералды құрамы шектеулі. Күріш, жүгері, арпа сияқты дәнді дақылдар көмірсулар мен энергия көзі ретінде негізгі құндылыққа ие, бірақ белгілі бір дәрумендер мен микроэлементтердің жетіспеушілігі өнімнің биологиялық құндылығын төмендетеді [2]. Осыған байланысты, соңғы жылдары табиғи өсімдік тектес қоспаларды тағамға енгізу өзекті мәселе болып саналды [3].

Өсімдік ұнтақтарын (сәбіз, қызылша және басқа да көкөністерді) қосу өнімнің тағамдық құндылығын арттырып қана қоймай, оның функционалдық қасиеттерін жақсарта алады. Бұл қоспалар бета-каротинге, аскорбин қышқылына, витаминдерге, минералдарға және антиоксиданттарға бай, олар ағзаның қорғаныштық қасиетін жақсартады, метаболикалық процестерді жақсартады және созылмалы аурулардың алдын алуда маңызды қызмет атқарады [4, 5]. Сонымен қатар, өсімдік тектес қоспалар өнімге табиғи түс пен ерекше дәм береді, бұл тұтынушылар арасында тартымдылығын арттырады [6].

Тағамның сапасы тағамдық құндылығымен ғана емес, қауіпсіздік стандарттарымен де анықталады. Қазіргі қоршаған орта жағдайында ауыр металдарды (қорғасын,кадмий,сынап) және радионуклидтерді (K-40, Cs-137) тағам тізбегіне енгізу қаупі әрқашан жоғары болып келеді. Сондықтан тағамдық өнімдердің санитарлық-гигиеналық көрсеткіштерін бағалау олардың сапасын кешенді талдаудың маңызды бөлігі болып табылады [7].

Зерттеу тобы күріш жармашығы мен өсімдік ұндары (сәбіз және қызылша) негізінде функционалды бағыттағы экструдирленген таңғы ас технологиясын әзірлеген. Зерттеу нәтижелері өсімдік ұндарының 10% мөлшерде қосылуы өнімнің биологиялық құндылығын арттырып, табиғи түс пен дәм сапасын жақсартатынын көрсетті. Сонымен қатар, стевия экстрактісінің енгізілуі қарапайым қанттарды алмастырып, гликемиялық индексі төмен, денсаулыққа пайдалы өнім алуға мүмкіндік берген. Экструзия процесі оңтайлы температура мен қысымда жүргізіліп, алынған өнімдердің құрылымдық және органолептикалық сипаттамалары жақсы болған. Бұл зерттеу өсімдік тектес шикізаттарды тиімді қолдану арқылы функционалды таңғы ас өнімдерін өндірудің ғылыми негізін қалыптастырған [8].

Осыған байланысты сәбіз және қызылша ұнтағымен байытылған жарма негізіндегі таңғы астың сапасы мен тағамдық қауіпсіздігін зерттеу бүгінгі күні өзекті болып табылады. Бұл жұмыс өнімнің физика-химиялық, витаминдік және минералды құрамын, сондай-ақ оның утыттылығын және радиологиялық қауіпсіздігін бағалауға бағытталған.

Материалдар мен әдістер. Жарма негізі ретінде күріш, жүгері және арпа пайдаланылды (МЕМСТ 6292-93; МЕМСТ 6002-2022; МЕМСТ 26312,1-84). Байыту үшін сәбіз және қызылша ұнтақтарц пайдаланылды. Ұнтақ конвекті кептіру әдісімен 55-60 температурада кептіріліп, бөлшектердің біркелкі мөлшеріне (<0,5 мм) ұнтақтау арқылы дайындалды.

Рецептураның құрамы бойынша 4 негізгі нұсқа әзірленді:

Бақылау моделі – өсімдік қоспаларынсыз;

Рецепт №1 - 5% сәбіз және 5% қызылша ұнтағы;

Рецепт №2 - 10% сәбіз ұнтағы;

Рецепт №3 - 10% қызылша ұнтағы.

Шикізат електен өткізіліп, құрамы бойынша өлшеніп, біртекті масса болғанша дейін араластырылды. Қоспа 18% ылғалдылықпен ылғалдандырылады және ылғалды біркелкі тарату үшін 20-30 минутқа қалдырылады.

Процесс келесі оңтайлы параметрлері бар зертханалық екібұрандалы экструдерде жүргізілді: шығыс экструдаттар ауада салқындатылды, содан кейін қалдық ылғалдылығы ≤8% - дан аз болғанша 90-100 температурада кептірілді. Жабдық ретінде MESI-20/28 маркалы зертханалық екібұрандалы экструдер қолданылды. Өндіруші – «China Lab 1» Қытай Халық Республикасы. Экструдер өнім қоспасын жоғары температура мен қысымда өңдеуге, бұрандалардың айналу жылдамдығын және температураны дәл реттеуге мүмкіндік береді. Дайын өнім ылғалға төзімді көпқабатты қаптамаға салынған.

Таңғы астық сынамаларының сапасы мен қауіпсіздігін жан-жақты бағалау үшін келесі әдістер қолданылды:

Ақуыздың массалық үлесі (%) - Кьельдаль әдісімен анықталды (МЕМСТ 10846-91).

Майдың массалық үлесі (%) - экстракциялық-гравиметриялық әдісімен анықталды (МЕМСТ 29033-91).

Көмірсулардың массалық үлесі (%) – перман-

ганатометриялық әдісімен (зертханалық технология) зерттелді.

Витаминдер (B_1, B_2, B_3, B_5, B_6, Bc, C, мг/100 г) - жоғары тиімділік сұйықтықты хроматография (ЖТСХ), титриметриялық және флуориметриялық әдістер арқылы анықталды (МЕМСТ 31483–2012).

Минералды элементтер (Fe, Na, Mg, Ca, K, мг/100 г) - атомдық-абсорбциялық спектрометрия әдісімен өлшенді (МЕМСТ 23243–2013).

Қорғасын (Pb) және кадмий (Cd, мг/г) – атомдық-абсорбциялық әдіспен анықталды (МЕМСТ 30178–96).

Мышьяк (As, мг/г) - молибденді-көк фотометриялық әдіс бойынша зерттелді (МЕМСТ 26930-86).

Сынап (Hg, мг/г) - газразрядтық спектроскопия әдісімен анықталды (МЕМСТ ГОСТ 26927–86).

Радионуклидтер (K-40, Cs-137, Бк/кг) - гамма-спектрометрия әдісі арқылы анықталды (МЕМСТ 32161–2013).



1 2 3 4

1 - сурет. Әр түрлі құрамдағы экструдатталған таңғы ас түрлері

1 - өсімдік қоспасы қосылмаған бақылау үлгісі; 2 - 5% сәбіз және 5% қызылша ұнтағы бар үлгі; 3 - 10% сәбіз ұнтағы бар үлгі; 4 - 10% қызылша ұнтағы бар үлгі.

1-суретте бастапқы күйінде экструдатталған таңғы астың төрт эксперименттік үлгісі көрсетілген. Барлық өнімдер жарма қоспасынан (күріш, жүгері, арпа) өсімдік ұнтақтарының әртүрлі қоспаларымен ыстық экструзия әдісімен дайындалады. Өнімдердің түсінің айырмашылығы табиғи бояғыштардың болуына байланысты.

Бақылау үлгісі өсімдік текті қоспалар қосылмаған дәстүрлі дәнді қоспа негізінде дайындалды. Оның құрамы ГОСТ талаптарына сәйкес таңдалды және дәнді дақылдардың стандартты үлгілеріне негізделді:

Күріш жармасы - 40 % (ГОСТ 6292–93 «Күріш жармасы. Техникалық шарттар»);

Жүгері жармасы - 40 % (ГОСТ 6002–2022 «Жүгері жармасы. Техникалық шарттар»);

Арпа жармасы - 20 % (ГОСТ 5784–60 «Арпа жармасы. Техникалық шарттар»).

Бақылау үлгісі өсімдік қоспалары қосылған тәжірибелік нұсқалармен салыстыру үшін негізгі эталон ретінде пайдаланылды. Барлық үлгілердің дайындалуы және өңделуі бірыңғай технологиялық режимде жүргізілді. Бақылау үлгісі өсімдік қоспалары қосылмаған дәстүрлі «Құрғақ таңғы ас» (ГОСТ Р 50365-92) стандартына сәйкес дайындалды.

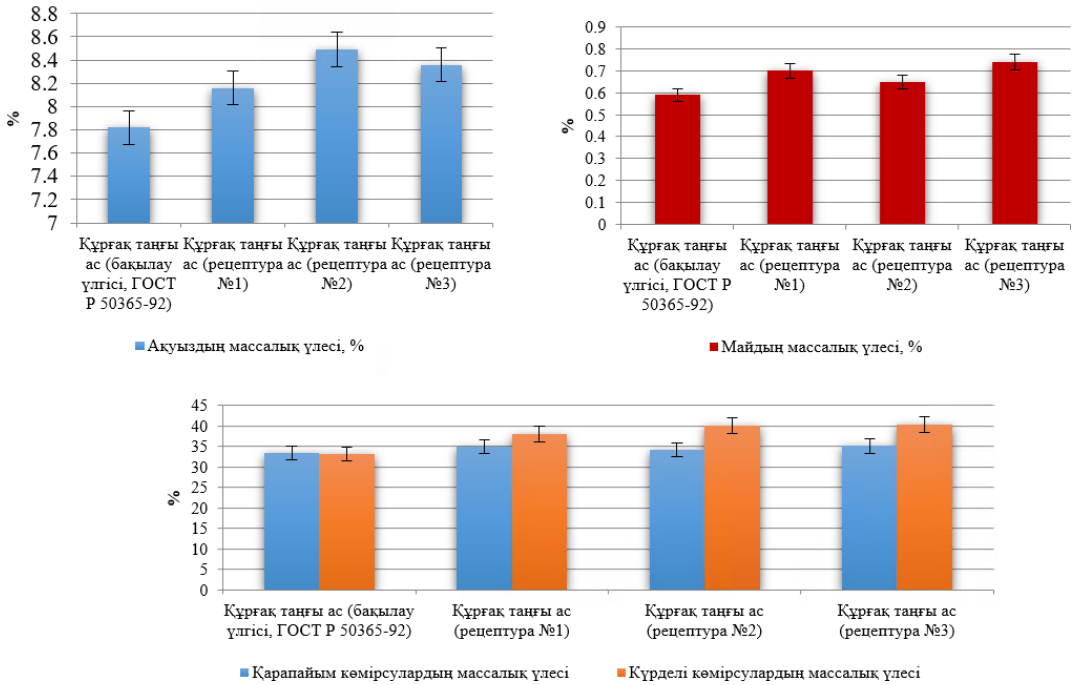
Барлық тәжірибелер үш қайталымда жүргізілді. Алынған нәтижелер орташа арифметикалық мән және стандарттық ауытқу (±SD) түрінде көрсетілді. Мәліметтердің сенімділігін бағалау үшін дисперсиялық талдау (ANOVA) әдісі қолданылды. Топтар арасындағы айырмашылықтар $p < 0,05$ деңгейінде статистикалық тұрғыдан мәнді деп есептелді. Статистикалық есептеулер мен графикалық өңдеу үшін Microsoft Excel 2021 бағдарламалық пакеті пайдаланылды.

Нәтижелер мен талқылау. Зерттеулер жарма негізіндегі таңғы ас үлгілерінің тағамдық және

биологиялық құндылығын жан-жақты бағалауға бағытталған. Алынған нәтижелер өнім сапасының негізгі көрсеткіштерін қамтыды: физика-химиялық көрсеткіштер, витаминдік-минералды құрам, сондай-ақ санитарлық-гигиеналық қауіпсіздік деңгейі.

Зерттеу жүргізу барасында бақылау үлгісі (өсімдік қоспалары жоқ) және тәжірибелік үлгілер (сәбіз және қызылша ұнтағы қосылған) талданды. Бұл салыстыру өсімдік тектес қоспалардың тағамдық құндылығына әсерін анықтауға және олардың функционалдық әлеуетін бағалауға жағдай жасады.

Физика-химиялық көрсеткіштердің өзгеруі әсіресе маңызды, өйткені олар өнімнің технологиялық тұрақтылығы мен тұтынушылық қасиеттерін айқындайды. Сонымен қатар, витамин-минералды профильдің кеңеюі биологиялық белсенді заттардың сақталуы мен қосылуын көрсетеді. Ал уыттылықты анықтаудың нәтижелері өнімнің қауіпсіздік пен санитарлық нормаларға сәйкестігін анықтауға мүмкіндік береді.



2 - сурет. Құрғақ диеталық таңғы ас рецептеріндегі негізгі көрсеткіштердің даму динамикасы

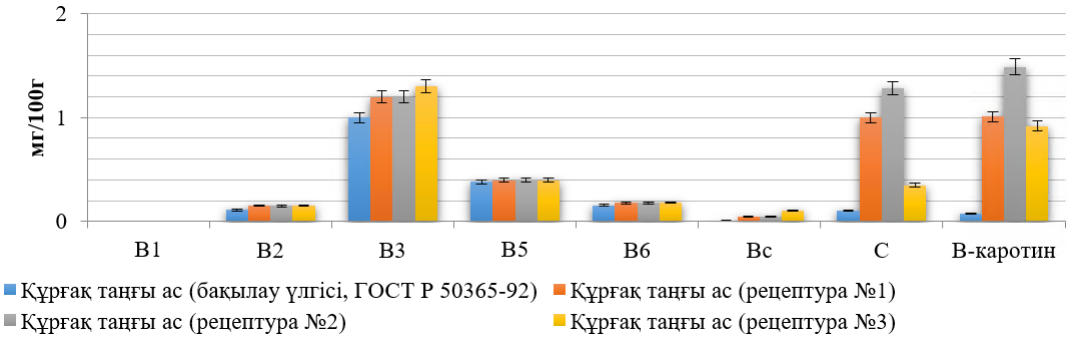
Зерттеу барысында бақылау және эксперименттік үлгілердің негізгі тағамдық компоненттерінің – ақуыздардың, майлардың және көмірсулардың массалық үлесі анықталды. Алынған мәліметтер бойынша өнімнің тағамдық құндылығы мен функционалдық әлеуетін бағалауға мүмкіндік берді (1-Сурет).2).

Бақылау үлгісіндегі ақуыз деңгейі 7,82% болғанда, эксперименттік нұсқаларда оның құрамының жоғарылауы байқалды. Әсіресе №2 рецептінде (10% сәбіз ұнтағы) ақуыздардың үлесі 8,49% - ға жетті, бұл барлық нұсқалардың ішіндегі ең жоғарысы болып табылады. Бұл сәбіздің ақуыздық құндылығымен және өсімдік қоспаларының дәнді дақылдармен толықтырушы әсерімен түсіндіріледі.

Майдың үлесі барлық үлгілерде төмен болып қалды (0,59-0,74%). Алайда, қызылша ұнтағы қосылған №3 рецептінде майдың үлесі бақылау моделіне қарағанда жоғарылау болды. Бұл қызылшаның табиғи құрамындағы майдың аздығына байланысты.

Барлық эксперименттік үлгілер бақылаулармен салыстырғанда көмірсулар үлесінің артқанын көрсетті. бақылау үлгісі мен үш түрлі рецептурадағы көмірсулардың арақатынасы көр-

сетілген. Барлық зерттелген үлгілерде күрделі көмірсулардың үлесі қарапайым көмірсуларға қарағанда жоғары екені байқалады. Бұл әзірленген рецептуралардың тағамдық құндылығының артқанын және олардың физиологиялық тұрғыдан толыққанды екенін көрсетеді.



3 - сурет. Өсімдік қоспаларымен байытылған таңғы астың витаминдік құрамы

Зерттеу нәтижелері құрғақ таңғы ас үлгілерінің витаминдік профилінде айқын айырмашылықтар бар екенін көрсетті. Бақылау үлгісіндегі дәрумендердің шектеулі деңгейімен олардың үлесі өсімдік ұнтақтарын қосқанда эксперименттік нұсқаларда едәуір өсті (3-сурет).

В дәрумені (тиамин). Көмірсулар алмасуында негізгі кофермент рөлін атқаратын тиамин деңгейі бақылау үлгісінде 0,102 мг/100 г құрады. №2 рецептурада (сәбіз ұнтағы 10%) бұл көрсеткіш 0,168 мг/100 г дейін өсті және шамамен 65% - ға өсті.

B_2 дәрумені (рибофлавин). Бақылаудағы рибофлавиннің мөлшері 0,029 мг/100 г болса, эксперименттік үлгілерде оның деңгейі 0,050–0,053 мг/100 г-ға жетті. Бұл жасушалық тыныс алуды және антиоксиданттық қорғанысты күшейтуге мүмкіндік береді.

В дәрумені (ниацин). Энергия алмасуына қатысатын ниацин бақылау үлгісінде 1,0 мг/100 г, ал эксперименттік үлгілерде 1,2–1,3 мг/100 г болды.

В дәрумені (пантотен қышқылы). Барлық үлгілерде пантотен қышқылы 0,38-0,403 мг/100 Г диапазонында тіркелді. №2 формуласында сәл жоғары деңгейлер байқалды.

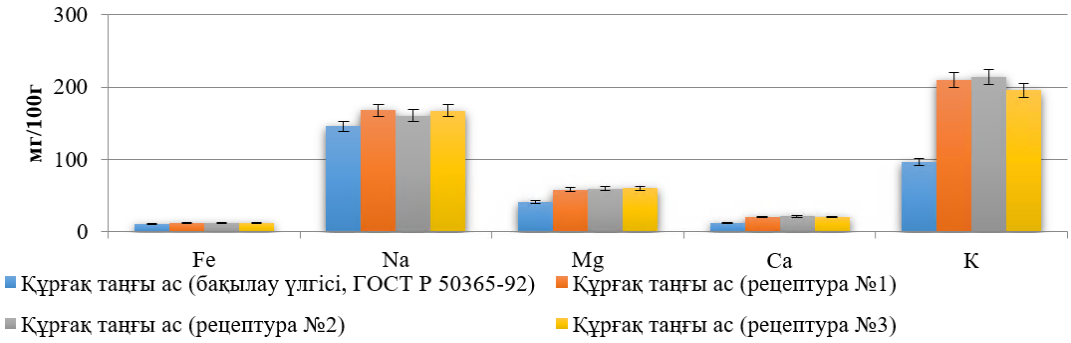
В дәрумені (пиридоксин). Аминқышқылдарының метаболизмі үшін маңызды пиридоксин бақылау үлгісінде 0,157 мг /100 г дейін, ал №3 рецептурада 0,182 мг/100 г жоғарылаған.

Фолий қышқылы (B_c). Тәжірибелік үлгілердегі фолий қышқылының деңгейі 0,010-0,011 мг/100 г құрады, бұл анемия мен жасушалардың бөлінуін болдырмау үшін маңызды. С дәрумені (аскорбин қышқылы). Бақылау үлгісінде мүлде табылмаған аскорбин қышқылы эксперименттік нұсқаларда тіркелді. Ең үлкен мән № 2-1, 28 мг/100 г формулада байқалды. Бұл сәбіз және қызылша ұнтағының табиғи құрамына байланысты.

Бета-каротиннің мөлшері тәжірибелік үлгілерде бақылау үлгісіне қарағанда айтарлықтай жоғары. Әсіресе №1 және №2 рецептураларында оның мөлшері сәйкесінше 1,01 және 1,49 мг/100 г құрайды, бұл өнімдердің антиоксиданттық қасиеттерінің артуын көрсетеді. Бета-каротин ағзада А дәруменіне айналып, көру қабілетін, тері мен иммундық жүйенің жағдайын жақсартады.

Зерттеу нәтижелері құрғақ таңғы ас үлгілеріне өсімдік қоспаларын енгізу минералды құрамды едәуір байытқанын көрсетті (4-сурет). Бақылау үлгісінде магнийдің мөлшері 28,4 мг/100 г құрады, эксперименттік үлгілерде ол 41,6–43,2 мг/100 г диапазонында тіркелді. Бақылаудағы кальций деңгейі 21,5 мг/100 г құрады және эксперименттік нұсқаларда 32,8–34,1 мг/ 100 г дейін өсті. Калий концентрациясы ең жоғары өсімі бақылау үлгісінде 162,3

мг/100 болғанда, №1 және №2 рецептураларда 342,5-356,7 мг/100, яғни екі еседен астам өсті. Бақылаудағы темірдің мөлшері 2,1 мг / 100 г, тәжірибелік үлгілерде–2,8-3,0 мг / 100 г болды. Натрийдің үлесі барлық нұсқаларда қалыпты шектерде қалды және 12,4-15,6 мг /100 г құрады. Бұл деректер ұнтақталған сәбіз мен қызылшаны қосу өнімнің минералды құрамын айтарлықтай жақсартатынын және оның биологиялық құндылығын арттыратынын көрсетеді.



4 - сурет. Өсімдік қоспаларымен байытылған таңғы астың минералды құрамы

1-кесте. Өсімдік қоспалары бар құрғақ таңғы ас үлгілеріндегі улы элементтер мен радионуклидтердің көрсеткіштері

№	Көрсеткіштердің атауы, өлшем бірлігі	Құрғақ таңғы ас (бақылау үлгісі ГОСТ Р 50365-92)	Құрғақ таңғы ас (рецептура №1)	Құрғақ таңғы ас (рецептура №2)	Құрғақ таңғы ас (рецептура №3)
1	Pb, мг/г	Анықталмады	Анықталмады	Анықталмады	Анықталмады
2	Cd, мг/г	Анықталмады	Анықталмады	Анықталмады	Анықталмады
3	As, мг/г	Анықталмады	Анықталмады	Анықталмады	Анықталмады
4	Hg, мг/г	Анықталмады	Анықталмады	Анықталмады	Анықталмады
Радионуклидтер					
1	K-40, Бк/кг	Анықталмады	Анықталмады	Анықталмады	Анықталмады
2	Cs-137, Бк/кг	Анықталмады	Анықталмады	Анықталмады	Анықталмады

Зерттеу барысында құрғақ таңғы ас үлгілерінің тағамдық қауіпсіздігі толығымен тексерілді (1-кесте). Барлық сынақ үлгілерінде (қорғасын, кадмий, мышьяк, сынап) улы элементтер табылған жоқ. Радиологиялық талдау кезінде сонымен қатар радионуклидтердің (K-40, Cs-137) құрамын анықтаған жоқ. Яғни, барлық бақылау үлгілерінде және эксперименттік нұсқаларда бұл көрсеткіштер ”анықталмады”. Бұл нәтижелер дәнді дақылдар мен пайдаланылатын өсімдік шикізатының экологиясын, сондай-ақ экструзиялық өңдеу технологиясының қауіпсіздігін дәлелдейді. Осылайша, дайын өнім санитарлық-гигиеналық талаптарға толық сәйкес келеді және ”Тамақ өнімдерінің қауіпсіздігі туралы ”ТР ТС 021/2011 техникалық регламентінің стандарттарына сәйкес келеді.

Зерттеу нәтижелері құрғақ жарма негізіндегі таңғы ас өнімдеріне өсімдік ұнтақтарын енгізудің тиімділігін көрсетті. Эксперименттік нұсқаларда бақылау үлгісімен салыстырғанда ақуыз мөлшері 7,82%-дан 8,49% - ға, көмірсулар 72,6% - дан 75,07% - ға дейін артқаны анықталды. Бұл өзгерістер өнімнің тағамдық құнды-

лығын арттырады және оның функционалдық әлеуетін жақсартады. Май мөлшерінің айтарлықтай өзгермеуі (0,59 - 0,74%) өнімнің энергия балансын сақтайтынын көрсетті.

Витаминдік құрамды талдау кезінде В дәрумені-нің деңгейі бақылау үлгісінде 0,102 мг/100 г дейін және сәбіз ұнтағы бар үлгіде 0,168 мг/100 г дейін өсті, Ал В және В дәрумендерінің мөлшері де айтарлықтай өсті. Бақылау үлгісінде анықталмаған С дәрумені эксперименттік нұсқаларда тіркелді, оның ең жоғары деңгейі №2 (1,28 мг/100 г) рецептурасында байқалды. Бұл табиғи өсімдік шикізатының құрамындағы дәрумендердің сақталатынын және экструзиялық өңдеу кезінде толығымен жойылмайтынын көрсетеді.

Минералды құрамы да айтарлықтай жақсарды: магний мен кальций деңгейі шамамен 1,5 есе өсті, ал калий концентрациясы бақылау деңгейінен екі есе жоғары болды (342,5-356,7 мг/100 г). Бұл жүрек-қантамыр жүйесін қолдау және элементтердің жетіспеушілігін болдырмау үшін маңызды. Темірдің құрамын 2,1 мг/100 г-нан 2,8-3,0 мг/100 г-ға дейін арттыру қан түзу процесін жақсартқанымен, натрий деңгейінің шамалы жоғарылауы физиологиялық нормадан аспады.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, тәжірибелік рецептуралардағы жалпы көмірсулар мөлшері бақылау үлгісіне шамалас деңгейде болғанымен, олардың сапалық құрамы өзгеріске ұшырады. Тәжірибелік өнімдерде қарапайым қанттарға қарағанда полисахаридтердің үлесі артқаны байқалады. Бұл көрсеткіш рецептура құрамына күрделі көмірсуларға бай шикізаттардың енгізілуімен түсіндіріледі. Полисахаридтердің артуы өнімнің физиологиялық тұрғыдан құндылығын арттырып, энергияның біртіндеп бөлінуін қамтамасыз етеді және ас қорыту процесін жақсартады. Осылайша, тәжірибелік үлгілердегі полисахаридтер үлесінің жоғарылауы өнім сапасын жетілдірудің оң нәтижесі болып табылады.

Тағамдық қауіпсіздігіне келетін болсақ, барлық үлгілерде ауыр металдар (Pb, Cd, As, Hg) және радионуклидтер (K-40, Cs-137) табылған жоқ. Бұл пайдаланылатын шикізаттың экологиялық тазалық деңгейін, сондай-ақ экструзия технологиясының қауіпсіздігін дәлелдейді.

Осылайша, жүргізілген зерттеулер таңғы құрғақ астың тағамдық құндылығы мен профилактикалық маңыздылығы өсімдік ұнтақтарын қосу арқылы айтарлықтай артқанын көрсетті. Сонымен қатар, нәтижелер өнімнің экологиялық таза және денсаулық үшін қауіпсіз екенін дәлелдейді және оны функционалды тамақтану үшін пайдаланудың ғылыми негізін қамтамасыз етеді.

Қорытынды. Зерттеу нәтижелері дәнді дақылдарға өсімдік ұнтақтарын (сәбіз және қызылша) енгізу құрғақ таңғы ас өнімдерінің тағамдық құндылығы мен функционалдық әлеуетін едәуір ұлғайтатынын көрсетті. Физика - химиялық талдау сынамалардағы ақуыздар мен көмірсулардың көбеюін, витаминдерді зерттеу - В тобындағы дәрумендер мен С витаминінің едәуір жоғарылауын, ал минералды құрам – магний, кальций, калий және темір деңгейінің айқын жоғарылауын көрсетті. Бұл өзгерістер өнімнің профилактикалық құндылығын арттырады және оны функционалды тамақтануда қолдануға негіз болады.

Тағамдық қауіпсіздігі тұрғысынан барлық үлгілерде ауыр металдардың (Pb, Cd, As, Hg) және радионуклидтердің (K-40, Cs-137) болмауы шикізаттың экологиялық беріктігі мен қолданатаын технологиялық процестің қауіпсіздігін дәлелдеді.

Осылайша, әзірленген құрамдардың технологиялық тұрғыдан енгізілгені, тағамдық және биологиялық құндылығы жоғары және санитарлық-гигиеналық талаптарға толық жауап беретіні анықталды. Мұндай өнімдерді диеталық және профилактикалық тамақтану ретінде кеңінен қолдануға болады.

Әдебиеттер

1. Ali I. M. et al. Effects of extrusion process conditions on nutritional, anti-nutritional, physical,

functional, and sensory properties of extruded snack:A review//Food Science & Nutrition.- 2024. -Vol.12 (11).-P.8755-8761. DOI 10.1002/fsn3.4472

2. Zhao Y. et al. Understanding the Impact of Extrusion Treatment on Cereals:Insights from Alterations in Starch Physicochemical Properties and In Vitro Digestion Kinetics//Animals.– 2024.-Vol.14(21).-P.3144. DOI 10.3390/ani14213144.

3. Ajala O. et al. Hazardous chemicals in extruded food: A comprehensive review of their occurrence, detection, toxicity, and mitigation strategies//Journal of Food Composition and Analysis.-2025.–Vol. 144(12).-P.107685. DOI 10.1016/j.jfca.2025.107685.

4. Morantes G., Ek P., Ganjyal G. M. Food safety in extrusion processing//Extrusion Cooking.-Woodhead Publishing.-2020.-P.507-521. DOI 10.1016/B978-0-12-815360-4.00016-X.

5. Egal A., Oldewage-Theron W. Extruded food products and their potential impact on food and nutrition security //South African Journal of Clinical Nutrition.-2019.-Vol.33(4).-P.142-143. DOI 10.1080/16070658.2019.1583043.

6. Kamau E. H., Nkhata S. G., Ayua E. O. Extrusion and nixtamalization conditions influence the magnitude of change in the nutrients and bioactive components of cereals and legumes//Food science & nutrition.-2020.-Vol. 8(4).-P.1753-1765.

7. Xu Y. et al. The Impact of Extrusion Cooking on the Physical Properties, Functional Components, and Pharmacological Activities of Natural Medicinal and Edible Plants: A Review //Foods.-2025.Vol.14.(11).-P.1869. DOI 10.3390/foods14111869.

8. Султанова М.Ж., Акжанов Н., Сәдуакас А., Камали А., Якияева М.А. Күріш жармашығы мен өсімдік ұнынан экструдирленген таңғы ас өндіру. Алматы технологиялық университетінің хабаршысы.-2025.- Т.148(2).- Б.82-89. DOI 10.48184/2304-568X-2025-2-82-89.

References

1. Ali I. M. et al. Effects of extrusion process conditions on nutritional, anti-nutritional, physical, functional, and sensory properties of extruded snack:A review//Food Science & Nutrition.- 2024. -Vol.12 (11).-P.8755-8761. DOI 10.1002/fsn3.4472

2. Zhao Y. et al. Understanding the Impact of Extrusion Treatment on Cereals:Insights from Alterations in Starch Physicochemical Properties and In Vitro Digestion Kinetics//Animals.- 2024.-Vol.14(21).-P.3144. DOI 10.3390/ani14213144.

3. Ajala O. et al. Hazardous chemicals in extruded food: A comprehensive review of their occurrence, detection, toxicity, and mitigation strategies//Journal of Food Composition and Analysis.-2025.-Vol. 144(12).-P.107685. DOI 10.1016/j.jfca.2025.107685.

4. Morantes G., Ek P., Ganjyal G. M. Food safety in extrusion processing//Extrusion Cooking.-Woodhead Publishing.-2020.-P.507-521. DOI 10.1016/B978-0-12-815360-4.00016-X.

5. Egal A., Oldewage-Theron W. Extruded food products and their potential impact on food and nutrition security //South African Journal of Clinical Nutrition.-2019.-Vol.33(4).-P.142-143. DOI 10.1080/16070658.2019.1583043.

6. Kamau E. H., Nkhata S. G., Ayua E. O. Extrusion and nixtamalization conditions influence the magnitude of change in the nutrients and bioactive components of cereals and legumes//Food science & nutrition.-2020.-Vol. 8(4).-P.1753-1765.

7. Xu Y. et al. The Impact of Extrusion Cooking on the Physical Properties, Functional Components, and

Pharmacological Activities of Natural Medicinal and Edible Plants: A Review //Foods.-2025.Vol.14.(11).-P.1869. DOI 10.3390/foods14111869.

8. Sultanova M.Zh., Akzhanov N., Sәduakas A., Kamali A., Jakijaeva M.A. Kүrish zharmashyғy men өsimdik ұnynan jekstrudirlengen taңғy as өndiru. Almaty tehnologijalyқ universitetinің habarshysy.-2025.T.148(2).B.82-89.DOI 10.48184/2304-568X-2025-2-82-89.[in Kazakh].

Авторлар туралы мәліметтер

Султанова М. - Алматы технологиялық университетінің докторанты, Алматы, Қазақстан, e-mail: sultanova.2012@mail.ru;

Сеитова Ф.З. - филология ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессоры, Алматы технологиялық университетінің, Алматы қ., Қазақстан, e-mail: me.fatme@mail.ru.

Information about the authors

Sultanova M. - doctoral student of Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: sultanova.2012@mail.ru;

Seitova F.Z. - candidate of philological Sciences, associate professor of Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: me.fatme@mail.ru.

МРНТИ 65.59.31 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-827**

ӨНДІРІЛГЕН МАШ ЕЗБЕСІН КҮРКЕТАУЫҚ ЕТ ӨНІМДЕРІ ТЕХНОЛОГИЯСЫНДА ҚОЛДАНУ

З.К. Конарбаева, З.Т. Нурсеитова, Г.Ж. Нурынбетова, Б.Ж. Мулдабекова, А.Қ. Әбді

М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

Корреспондент-автор: nur.zeinep@mail.ru

Биологиялық белсенді құрам бөліктердің жетіспеуі және тапшылығы бар теңестірілмеген тамақтану алиментарлық сипаттағы аурулардың пайда болуына және ағзаның тозуына алып келеді. Теңестірілген тамақтануға арналған жаңа тамақ өнімдерін жасаудың ілгерлемелі бағыттарының бірі ет шикізатын ішінара өсімдік текті шикізаттарға алмастыра отырып, қолданылатын қоректік заттардың базасын кеңейту. Бұл жұмыста отандық «Жасыл дән» сұрыпына жататын маш дақылының (бұршақ дақылдылар ішіндегі Винга тобы) езбесін күрке тауық етінен жасалған жартылай шикізатқа қосу ұсынылған. Күрке тауық етінен жасалған езбеге машты қосу етті-өсімдікті езбенің келесідей технологиялық қасиеттерін жақсартатыны байқалған: маштың езбесі мөлшерінің артуымен pH мөлшері артады, ылғал байланыстырғыштық қабілеті 60%-дан 71%-ға дейін артады, ылғал ұстап тұрғыштық қабілеті 55%-дан 61,2%-ға дейін артады. Күрке тауық етінен жасалған ет езбесіне машты қосу жартылай шикізаттар құрамындағы ақуыздардың, майлардың, көмірсулардың мөлшерінің артуына алып келеді. Күрке тауық етінен жасалған жартылай шикізаттың ең жақсы сапа көрсеткіштеріне маш езбесін 15% мөлшерінде қосу нәтижесінде қол жеткізілді. Ет жартылай шикізаттарының рецептурасында машты өңдеу өнімін қолдану құрамында теңестірілген құнды заттары бар тамақтану өнімдерінің түрін арттырады, алынған ет езбесі жүйесінің технологиялық, құрылымдық қасиеттерін жақсартады.

Түйін сөздер: теңестірілген тамақтану, қоректік заттар, күрке тауық еті, маш езбесі, технология, нутриенттік әлеует

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОРОЩЕННОЙ ПАСТЫ ИЗ МАША В ТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТОВ ИЗ МЯСА ИНДЕЙКИ

З.К. Конарбаева, З.Т. Нурсеитова, Г.Ж. Нурынбетова, Б.Ж. Мулдабекова, А.Қ. Әбді

Южно-Казахстанский университет им. М.Ауезова, Шымкент, Казахстан,
e-mail: nur.zeinep@mail.ru

Несбалансированное питание при недостатке и дефиците биологически активных компонентов может вызывать заболевания алиментарной природы и в целом может привести к истощению организма. Перспективным направлением в разработке новых пищевых продуктов для сбалансированного питания является расширение базы используемых питательных веществ за счет частичной замены мясного сырья на растительное. В данной работе был предложен и изучен полуфабрикат из мяса индейки с добавлением пюре кашица из зернобобовой культуры маш (вид рода Вигна семейства Бобовые) сорта отечественной селекции- «Жасыл Дән». Было выявлено, что при введении в фарш из индейки пюре из маша улучшаются технологические характеристики мясо-растительного фарша: с увеличением концентрации пюре из маша увеличивалось значение pH, влагосвязывающая способность возросла с 60 % до 71 %, влагоудерживающая способность возросла с 55 % до 61,2 %. Добавление пюре из маша в состав фарша из индейки приводит к увеличению содержания в полуфабрикатах белков, жиров, углеводов. Наилучшее качество полуфабриката из мяса индейки выявлено в образце с 15% добавкой пюре из маша. Использование пюре из маша при производстве мясных полуфабрикатов расширяет ассортимент продуктов питания с повышенной сбалансированностью питательных веществ, улучшает структурные, технологические свойства полученных фаршевых систем.

Ключевые слова: сбалансированное питание, питательные вещества, мясо индейки, пюре из маша, технологический, нутриентный потенциал.

APPLICATION OF SPROUTED MUNG BEAN PASTE IN THE TECHNOLOGY OF TURKEY MEAT PRODUCTS

Z.K. Konarbayeva, Z.T. Nurseytova✉, G.Zh. Nurynbetova, B.Zh. Muldabekova, A.K. Abdi

SKU named after M.Auezov, Shymkent, Kazakhstan,
e-mail: nur.zeinep@mail.ru

An unbalanced diet with a lack and deficiency of biologically active components can cause diseases of an alimentary nature and, in general, can lead to exhaustion of the body. A promising direction in the development of new food products for a balanced diet is to expand the base of nutrients used by partially replacing meat with vegetable raw materials. In this work, we proposed and studied a semi—finished product of turkey meat with the addition of puree from the leguminous culture of mash (a species of the genus Vigna of the Legume family) of a variety of domestic breeding - ”Zhasyl Dan”. It was found that when mash puree is introduced into turkey minced meat, the technological characteristics of minced meat and vegetable meat improve: with an increase in the concentration of mash puree, the pH value increased, the moisture binding ability increased from 60% to 71%, and the moisture retention ability increased from 55% to 61.2%. The addition of mash puree to turkey minced meat leads to an increase in the content of proteins, fats, carbohydrates in semi-finished products. The best quality of the turkey meat semi-finished product was revealed in a sample with 15% added puree from mash. The use of mash puree in the production of semi-finished meat products expands the range of food products with an increased balance of nutrients, improves the structural and technological properties of the resulting stuffing systems.

Keywords: balanced nutrition, nutrients, turkey meat, mung bean puree, technological, nutritional potential

Кіріспе. Тамақ өнеркәсібіндегі дамытудың бағыттарының бірі жаңа өнімдер жасау. Жаңа тамақтану өнімдерін жасау оның тағамдық және биологиялық құндылығын, физико-химиялық және функциональдық қасиеттерін, қауіпсіздігін жақсартуға және тамақ өнімдерінің қол жетімділігін арттыруға бағытталған.

Еліміздегі тұрғындарды қауіпсіз азық-түлік өнімдерімен қамтамасыз етудің ең маңызды мәселесі ол ақуызбен қамтамасыз ету. Ақуыздардың бірқатар альтернативтік нұсқаларына қарамастан, жануартекті ақуыздар әлі күнге дейін негізгі ақуыздың көзі болып саналады. Адамның тамақтануындағы еттің маңызын асыра бағалау өте қиын. Ол тек ғана ақуыздар мен калорияның көзі ғана емес, сонымен қатар, адам ағзасына қажетті дәрумендердің, оңай сіңетін темір мен мырыштың көзі болып саналады. Қазіргі уақытта адамның тамақтану рационында ең кең таралған жануартекті ақуыздар олар құс етіне тән [1].

Құс еттерінің ішінде әсіресе күркетауық етіне соңғы жылдары ерекше назар аударылуда.

Күркетауық еті аминқышқылды құрамы теңестірілген ақуыздың көзі болып саналады, соның нәтижесінде ол жақсы қорытылады және жақсы сіңеді. Күркетауық етінің биологиялық толық құндылығына оның құрамында жоғары мөлшерде кездесетін триптофан және оксипролин аминышқылдары кепіл бола алады [2, 3].

Еттің осы түріне деген еліміздегі сұраныстың күн санап артуына байланысты Қазақстан Республикасының ауыл шаруашылық министрлігі күркетауық етін шығаратын жеті кәсіпорынды салуды жоспарлаған.2020 жылы жаңа құс фермасы ашылды: Алматы облысында, Атырау облысында, Жамбыл облысында, Қостанай облысында, Маңғыстау облысында, Түркістан облысында және Солтүстік Қазақстан облысында. Ашылған фермалардың барлығының өнімділігі жылына 50 мың тоннаны құрайды. Түркістан облысының Бадау ауылында «Ордабасы

құс» ЖШС құс фермасы кешенінде жылына 4830 мың тонна күркетауық өсіру мен оның етін өңдеу жүргізіледі.

Күркетауық етін өндіру саласы Қазақстанда да, әлемде де жақсы перспективаға ие. Бұл салауатты тамақтанудың белең алуымен және күркетауық етінен жасалған өнімдерге деген сұраныстың артуымен байланысты [4].

Соңғы жылдары, жануарлар мен өсімдіктекті шикізаттарды бірге қолдану бойынша тенденцияның артқанын байқауға болады. Себебі, адамдар жануар текті өнімдерінің қоршаған ортаға әсері туралы және өсімдік текті өнімдерді көп мөлшерде пайдаланудың пайдасы туралы көбірек біле түсуде. Бұршақ дақылдары мен дәнді дақылдарды пайдалана отырып жасалған құрама ет өнімдері құрамында қаныққан майлар мен холестериннің мөлшері аз, алмаспайтын амин қышқылдарының мөлшері жоғары, құрамы тағамдық талшықтар мен фитохимиялық заттарға бай экономикалық тұрғыда тиімді өнім болып саналады.

Маш немесе жасыл бұршақ негізінен Қазақстанда, Азия елдерінде және әлемнің басқа елдерінде өсірілетін бұршақ дақылдас өсімдік. Бұл құрамында оңай сіңетін ақуыздар (20-32%), көмірсулар (53,3-67,1%), майлар (0,71-1,85%), дәрумендер, минералды заттар мен жасуық мөлшері жоғары болатын ылғал сүйгіш бұршақ дақылды өсімдік. Маштың құрамында танин, фитин қышқылы, гемагглютин, полифенол және өте аз мөлшерде трипсин ингибиторлары болатын антинутриенттер болады. Бұған қоса маштың құрамында қабынуға қарсы, микробқа қарсы сияқты фармацевтикалық маңызды қасиеттерге ие алкалоидтер, флавоноидтер, сапониндер, фенолдар, гликозидтер мен пептидты биоактивтер сияқты фитохимиялық заттар болады [5].

Машты зерттеу бойынша жүргізілген ғылыми-зерттеу жұмыстарын қорытындылай келе, машты табиғи күйінде де және кез-келген өңделген күйде пайдалану адам денсаулығы үшін маңызды рөл атқарады және функционалды бағыттағы түрлі өнімдер жасауда қолданылуы мүмкін [6].

Жұмыстың мақсаты машты өңдеу өнімін күркке тауық етінен жасалған ет өінімі өндірісінде қолданудың технологиялық және нутриенттік потенциалын зерттеу және негіздеу.

Зерттеу нысаны келесілер: 1 сұрыпты күрке тауық еті («Дәмді ет» тауарлық маркасы арқылы тіркелген «Ордабасы құс» ЖШС өнімі), маш езбесін 10-нан 20-ға дейін қосу арқылы алынған ет езбесі және одан алынған жартылай шикізат. Қазіргі таңда Қазақстан Республикасында маштың «Жасыл дән» селекциясына жататын жалғыз сұрыпы қолданылады [7].

Материалдар мен әдістер. Зерттеу материалдары ретінде күркетауықтың сан сүбе еті (МЕМСТ 31473-2012 бойынша) [8] мен бауырын қосу арқылы өндірілген маш езбесімен (МЕМСТ 35050-2023 бойынша) [9] байытылған ет өнімі қолданылды. Ет езбесінің ылғал байланыстырғыштық қабілеті оның технологиялық дайындаудың түрлі сатыларындағы қасиетін анықтайды және дайын ет өнімдерінің су ұстағыштық қабілетіне, олардың сапасы мен шығымына әсер етеді. Оларды Грау-Гамм әдісін қолдана отырып анықтайды. Әдісте етті фильтр қағазының үстіне қойып ақырындап сығымдау барысында бөлінетін су дағының мөлшерімен анықталады. Дақ мөлшері еттін су ұстағыштық қабілетіне байланысты болады. Алдымен еттің ылғалдылығын анықтап алады. Содан соң барып ет сынамасының 0,3 г диаметрі 15-20 мм болатын полиэтиленнен жасалған пиалаға салады, содан соң барып оны фильтр қағазына салады бұл ретте фарт полиэтилен пиаланың астында болуы тиіс. Сынама бетіне тура астындағыдай пластинкамен жабады және оның үстіне салмағы 1 кг болатын жүкті 10 мин қояды. Содан соң барып жүкті алады, фильтр қағазынан ет езбесін алады және фильтр қағазындағы дақты қаламмен сызып оны олшеп алады. Тәжірибелік тұрғыдан 1 см^2 аудан 804 мл суды сіңірген деп қабылдау ұсынылған. Байланысқан су мөлшері келесі формула арқылы анықталады:

$$B_1 = [(A - 8,4 \times Б) \times 100] : M \qquad (1)$$

$$B_2 = [(A - 8,4 \times Б) \times 100] : A \qquad (2)$$

мұндағы B_1 – байланысқан ылғалдың мөл-

шері, % ет салмағына қатысты;

B_2 – байланысқан ылғалдың мөлшері, % жалпы ылғалға байланысты;

A – сынамадағы ылғал мөлшері, мг;

8, 4 – 1 см ылғал дақтағы су мөлшері, мг;

$Б$ – ылғал дақтың ауданы, см^2;

M – ет езбесі сынамасының салмағы, мг.

Ылғал ұстап тұрғыштық қабілеті өнімнің ылғалдылығынан байланысқан ылғал мөлшерін алып тастау арқылы келесі формуламен анықталады:

$$ЫҰҚ = W_{ылғ} - ЫБҚ \quad (3)$$

Жартылай шикізаттың органолептикалық сапасы (дәмі, иісі, консистенциясы, сыртқы түрі) дегустациялау әдісімен бес балдық шкала бойынша МЕМСТ 9959-2015 [10] сай анықталды.

pH мөлшері станционарлы зертханалық pH метрде анықталды.

Майдың салмақтық үлесі МЕМСТ 23042-2015 сай анықталады. Ылғалдың салмақтық үлесі анықтағаннан кейінгі алынған кептірілген сынаманы арнайы бюкстерге салып, үстінен еріткіш ретінде 10-15 мл этил эфирін құяды. Өнім құрамындағы майды экстрациялау әр бір 3-4 минут сайын 4-5 рет қайталау арқылы жүргізілді. Еріткішті соңғы рет төгіп тастаған соң, ауада буландырады. Майсыздандырылған сынамасы кептіргіш шкафта 10 минут бойына 105^{0}С температура кептіру арқылы анықтадық [11].

Ақуыздың мөлшерін МЕМСТ 25011-2017 сай Кельдаль әдісімен анықтадық. Әдіс органикалық қосылыстарды концентрлі күкірт қышқылымен минерализациялап, ары қарай азоттың мөлшерін аммиактың жалпы мөлшері бойынша анықтауға негізделген [12].

Көмірсулардың салмақтық үлесі есептеу арқылы анықталды. Зерттеудің стандартты және арнайы әдістері қолданылды.

Зерттеу жұмыстары М.Әуезов атындағы ОҚУ «Тамақ инженериясы» кафедрасының базасында жүргізілді.

Әр бір сапа көрсеткішті анықтау үш реттен жүргізіліп, оның арифметикалық ортасы алынды.

Зертханалық жағдайда маш дақылын өндірдік. Ол үшін 500 г маш дәні өлшеп алынды. Оны минеральды және өзгеде қоспаларынан тазалап, температурасы 25 ^{0}С сумен жудық. Содан соң барып оны жалпақ ыдысқа салып, қараңғы жерге, бөлме температурасына 3 тәулікке қалдырып қойдық. Әр тәулік сайын температрурасы 25 ^{0}С суды маштың бетіне себелеп тұрдық. Маштың өскінділері 2-3 мм болған кезде алып, ақырын суда мұхият бір жуып алдық. Өндірілген машты зертханалық блэндрге салып, біркелкі масса пайда болғанша майдалап алдық.

Ет езбесін келесідей сатылардан тұрады: шикізаттарды сұрыптау және дайындау, бланширлеу, майдалау, құрамына өнділірген маш езбесін 10-нан 20-ға дейін қосу арқылы және өзгеде рецептуралық құрам бөліктермен араластыру, ыдыстарға құю, стерилдеу және суыту. алынған ет езбесі.

Нәтижелер мен талқылаулар. Күркетауық еті - салауатты өмір салтын ұстанғысы келетіндер үшін ең жақсы таңдау. Тамақтану саласындағы әлемдік сарапшылар күрке тауық етін пайдаланудың артқышлығын дәлелдеген. Күркетауық етінің орташа порциясы дәрумендерге деген қажіттіліктің 60% қамтамасыз етеді. Күркетауық етінің құрдамында К, Е, Д, РР, В тобының дәрумендері, тіршілікке маңызды минералдар - калий, кальций, магний, натрий, фосфор, мырыш, йод, күкірт, селен, марганец және т.б. жоғары мөлшерде бар. Күркетауық еті мен басқа құс еттерінің химиялық құрамы мен тағамдық құндылығын салыстырмалы талдауы 1-кестеде көрсетілген [13].

1-кестедегі мәліметтерді талдай отырып, күркетауық етінің құрамындағы ақуыз, натрий, фосфор басқаларға қарағанда көп екендігін және майдық үлесі аз, сол арқылы басқа құс еттерімен «бәсекеге қабілетті» көрсеткіштерге ие деп айта аламыз.

Құрамында ақуыз мөлшері жоғары жаңа дақылды іздеу және оның химиялық құрамын жақсарту мақсатында машты зерттедік. Өңдеудің саналуан түрлері маштың химиялық құра-

мына және оның функциональды қасиетінің өзгеруіне алып келуі мүмкін.

Маштың химиялық құрамы басқа бұршақ дақылдарына ұқсас, бірақ өзіндік ерекшеліктері бар. Маш дәнінде ақуыз мөлшері 24-28% шамасында болып, ол ноқат (20-22%) пен бұршақтан (20-25%) жоғары. Көмірсулар үлесі машта орташа (55-60%), бұл көрсеткіш ноқат пен фасольмен шамалас. Май мөлшері машта аз (1-2%), ол соямен салыстырғанда әлдеқайда төмен (18–20%). Маш минералды заттарға (темір, магний, калий) және дәрумендерге бай, ас қорытуға жеңіл әрі аллергенділігі төмен [14].

1-кесте. Құс етінің химиялық құрамы мен тағамдық құндылығы

Құс түрлері	**Балапандар**		**Қаздар**		**Күрке -тауық**		**Тауықтар**		**Үйректер**	
Санат	1-ші	2-ші	1-ші	2-ші	1-ші	2-ші	1-ші	2-ші	1-ші	2-ші
Су, мл	63,8	67,7	45	54,4	57,3	64,5	61,9	68,1	5,6	56,7
Ақуыздар, г	18,7	19,7	15,2	17	19,5	21,6	18,2	21,2	15,8	17,2
Майлар, г	16,1	11,2	39	27,7	22	12	18,4	8,2	38	24,2
Зола, г	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	1,1	0,8	0,9	0,6	0,9
Минералды заттар, мг										
Na	70	88	91	99	90	100	70	79	58	90
K	236	242	240	274	210	257	194	240	156	160
Ca	14	12	12	14	12	18	16	18	10	12
Mg	19	22	30	34	19	25	18	21	15	13
P	160	175	165	179	200	227	165	190	136	156
Fe	1,3	1,7	2,4	2,4	1,4	1,8	1,6	1,5	1,9	1,9
Дәрумендер, мг										
A	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,07	0,07	0,05	0,05
B1	0,09	0,11	0,08	0,09	0,05	0,07	0,07	0,07	0,12	0,18
B2	0,15	0,16	0,23	0,26	0,22	0,19	0,15	0,14	0,17	0,19
PP	6,1	6,4	5,2	5,6	7,8	8	7,7	7,8	5,8	6

Маш дақылы адамдардың физиологиялық ерекшелігіне байланысты аллергия тудыруы мүмкін. Алайда, машттың аллергиялық қасиетінен құтылуға болады. Ол үшін оны өндіру керек [15, 16].

Соңғы жылдары өндірілген маш өнімін пайдалану тенденциясы салауатты тамақтану принциптерін ұстанған адамдар арасында кеңінен таралуда.

Өндірілген машты зертханалық майдалағышқа салып, біркелкі масса пайда болғанша майдалап алдық. Ары қарай оны күркетауық еті негізіндегі езбе өніміні өндірісінде қолдану үшін пайдаландық.

Бірақ оған дейін, маш пен өндірілген маштың химиялық құрамы мен минералды құрамы салыстырмалы түрде анықталды (2-кесте).

2-кестеден көріп тұрғанымыздай, өндірілген маш құрамында өндірілмеген машпен салыстырғанда ақуыздың және күлдің мөлшері жоғары болды. Зерттеулер көрсеткендей маш дақылын өндіру барысында оның ылғалдығы артады, фер-

менттік жүйенің белсендірілуі нәтижесінде көмірсулар гидролиз жүреді (көмірсулар мөлшері 3,5 тен 1,3 ке дейін азаяды). Бұл функциональды бағыттағы өнім алуда өндірілген машты қолданудың мақсаттылығын айқындайды.

Ет езбесінің тәжірибелік сынамаларында күркетауық саны сүбесінің жалпы рецептуралық мөлшерінен 5, 10 және 15% өндірілген маш езбесі қосылады.

Өнімге сұранысты қалыптастыру барысында шешуші рөлді оны органолептикалық сапа көрсеткіштері алады, ал оның химиялық құрамы мен тағамдық құндылығы көбінесе екінші кезекте болады.

Сондықтанда, өндірілген маш езбесінің күркетауық паштетінің органолептикалық сапа көрсеткіштеріне әсері анықталды, анықтау нәтижесі 3-кестеде берілген.

2-кесте. Маш және өндірілген маштың химиялық құрамын салыстырмалы түрде анықтау нәтижесі

Көрсеткіш атауы	**Маштағы салмақтық үлесі, %**	
	Өндірілмеген маш	**Өндірілген маш**
Ылғалдың салмақтық үлесі	12,0	57,9
Күлділік	2,02	5,04
Ақуыздар	20,6	28,9
Майлар	2,5	0,7
Көмірсулар	3,5	1,3

3-кесте. Ет өнімінің сынамаларының органолептикалық сапа көрсеткіштерін анықтау нәтижесі

Көрсеткіш атауы	**Бақылау сынамасы**	**10% маш езбесі қосылған сынама**	**15% маш езбесі қосылған сынама**	**20 % маш езбесі қосылған сынама**
Консистенциясы	Нәзік, жағылғыш, барлық көлемі бойынша біркелкі	Нәзік, жағылғыш, барлық көлемі бойынша біркелкі	Нәзік, жағылғыш, барлық көлемі бойынша біркелкі	Тығыздау, барлық көлемі бойынша біркелкі емес
Иісі	Паштетке тән хош иісті, бөгде иіссіз	Аздап ғана өсімдікті-жаңғақты иіс сезіледі	Өсімдікті-жаңғақты иіс жақсы сезіледі	Өсімдікті-жаңғақты иіс анық сезіледі
Дәмі	Нәзік етті, тұздылау, өнімге тән	Аздап машқа тән дәм сезіледі, толық емес	Ет пен өсімдік дәмі теңескен, толық	Өсімдік дәмі қанық сезіледі
Сыртқы көрінісі	Майда дисперсті, барлық көлемі бойынша бірдей, күкетауық етіне тән түске ие	Майда дисперсті, барлық көлемі бойынша бірдей, аздап жасыл реңге ие	Майда дисперсті, барлық көлемі бойынша бірдей, жасыл-ашық қоңыр реңге ие	Майда дисперсті, барлық көлемі бойынша бірдей, қоңыр-жасыл реңге ие

Ет өнімі құрамында өндірілген маш езбесінің мөлшерінің артуымен дайын өнімнің түсі ашық жасылдан қоңыр жасыл түске дейін өзгереді. Бұл маш құрамында өнімге түс беретін хлоро-

филл мен антиоксиданттардың болуынан. Құрамына 10 және 15% мөлшерінде маш езбесі қосылған тәжірибелік сынамалардың консистенцясы бақылау сынамасымен бірдей нәзік, жағылғыш, барлық көлемі бойынша біркелкі болады. Ал ет езбесінің консистенциясы маш езбесінің мөлшері 20%-ға дейін артуымен тығыздау бола бастайды. Сонымен қатар, ет езбесі құрамындағы күркетауық бауырын күркетауық жүрегімен алмастырудан пашттеттің консистенциясының аздап тығыздалуна алып келеді.

Ет езбесі сынамаларының құрамында өндірілген маш езбесінің мөлшерінің артуымен өнімнің дәмі мен иісінде өсімдікке тән дәм мен иіс күшейе түседі, 10% мөлшерінде маш езбесі қосылған тәжірибелік сынамада аздап ғана өсімдіктіжаңғақты иіс сезілсе, 15% мөлшерінде маш езбесі қосылған тәжірибелік сынамада ет пен өсімдік дәмі теңескен, толық болады. Ал 20% мөлшерінде маш езбесі қосылған тәжірибелік сынамада өндірілген маштағы ферментативтік үрдістердің белсенуінен өсімдік дәмі қанық сезіледі.

Ары қарай алынған жартылай шикізаттардың физико-химиялық және технологиялық қасиеттері анықталды.

Құрамына 10%, 15% және 20% қосылған етті-өсімдікті жартылай шикізаттардың дайындалған сынамалары функционалдық және технологиялық қасиеттері бойынша бағалану үшін pH мөлшері бойынша, ылғал ұстап тұрғыштық қабілеті, ылғал байланыстырғыштық қабілеті бойынша бағаланды. Ары қарай сынамалар құрамындағы негізгі құрам бөліктердің мөлшері анықталды, бұл ретте ақуызды құрам бөліктердің мөлшерінің артуына баса назар аударылды (1-сурет және 4-кесте).

4-кесте. Етті-өсімдікті жартылай шикізаттың негізгі технологиялық көрсеткіштері

Көрсеткіштер атауы	Бақылау сынамасының мәні	Өндірілген маш езбесін әр түрлі мөлшерде қосылған етті-өсімдікті жартылай шикізаттың тәжірибелік сынамалары		
		10%	15%	20%
pH	6,84±0,01	6,88±0,01	6,91±0,01	6,94±0,01
Ылғал ұстап тұрғыштық қабілеті	55±0,2%	60,4±0,2%	60,9±0,1%	61,2±0,1%
Ылғал байланыстырғыштық қабілеті	60 ±0,2%	62 ±0,2%	70±0,2%	71±0,2%

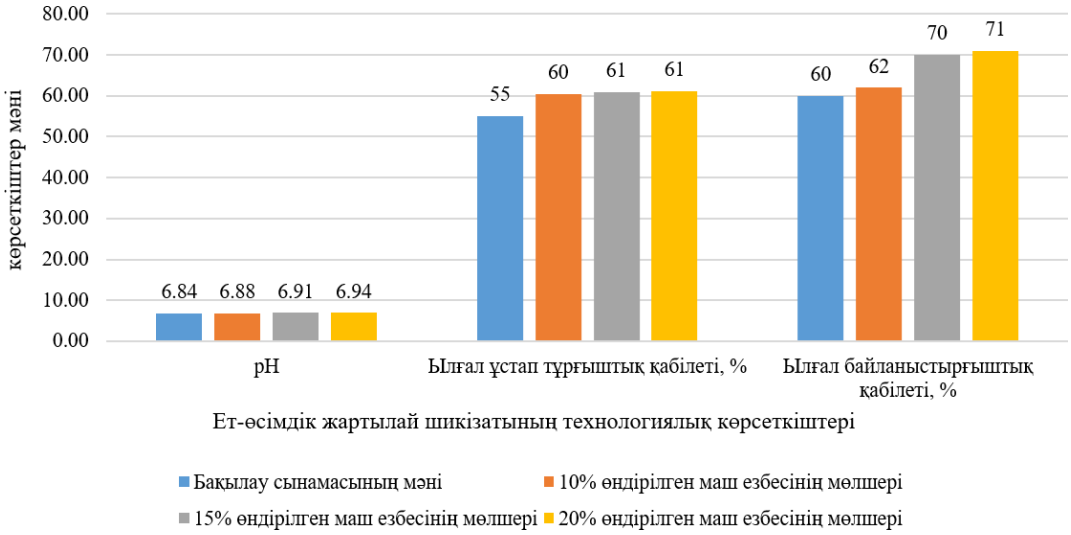
4 кестедегі және 1-суреттегі мәліметтерге сай күрке тауық етінен жасалған ет езбесіне маш езбесі қосу етті-өсімдікті езбенің технологиялық сипаттамаларын жақсартатынын көрсетті: маш ұнының мөлшері артуымен pH мөлшері артады, ылғал байланыстарғыштық қабілеті 60%-дан 71%-ға дейін артады, ылғал ұстап тұрғыштық қабілеті 55%-дан 61,2%-ға дейін артады. Бұл өзгерістер өсімдік қоспасында крахмалдың, жасунықтың және ақуыздың көп мөлшерде болуымен түсіндіріледі, олар өнімді технологиялық өңдеу барысында ет езбесі жүйесінде бос ылғалды ұстап тұруға мүмкіндік береді.

Күрке тауық ет езбесі құрамына маш езбесін қосу жартылай шикізаттар құрамындағы ақуыздардың, майлардың, көмірсулардың және тағамдық талшықтардың мөлшерінің артуына алып келеді (5-кесте).

Ет өнімінің тәжірибелік сынамасының құрамына өндірілген маш езбесі күркетауық саны сү-

бесінің жалпы мөлшерінің 15% шегере отырып қосты және ет өнімінің дәстүрлі рецептурасындағы бауыр күркетауық жүрегімен алмастырылды.

Ет өнімінің бақылау сынамасы дәстүрлі рецептура негізінде күркетауық еті мен бауырынан жасалынды.



1-сурет. Етті-өсімдікті жартылай шикізаттың негізгі технологиялық көрсеткіштері

5-кесте. Ет өнімінің сынамаларының химиялық құрамын салыстырмалы түрде анықтау нәтижелері

Көрсеткіштердің атауы	Бақылау үлгісі	Тәжірибелік үлгі
Ылғалдың салмақтық үлесі, %/100 г	65.2 ± 0.15	70.0 ± 0.20
Ақуыздың салмақтық үлесі, %/100 г	15.6 ± 0.10	25.8 ± 0.25
Майдың салмақтық үлесі, %/100 г	4.5 ± 0.05	4.6 ± 0.05
Көмірсулардың салмақтық үлесі, %/100 г	7.1 ± 0.08	9.4 ± 0.10

5-кестеден көрініп тұрғандай, ет өнімінің тәжірибелік сынамаларының құрамындағы ақуыздардың, күлдің, көмірсулардың салмақтық үлесінің бақылау сынамасымен салыстырғанда айтарлықтай үлкен болған. Ет өнімінің тәжірибелік сынамаларындағы ылғалдың салмақтық үлесі өндірілген маштың ылғал байланыстырғыш қабілетінің жоғары болуынан бақылау сынамасымен салыстырғанда жоғары болған. Ақуыздың салматық үлесі бақылау сынамасымен салыстырғанда 10% артқан. Бұл күркетауық жүрегі мен өндірілген маштың ақуызды құрамының бай болуымен тікелей байланысты.

Қорытынды. Күрке тауық етінен жасалған жартылай шикізаттың ең жақсы сапа көрсеткішіне 15% маш езбесі қосылған сынама ие болды. Ет жартылай шикізатының құрамына 15% мөлшерінде маш езбесін қосу бақылау сынамасымен (маш езбесі қосылмаған жартылай шикізаты) салыстырғанда ылғалдың мөлшерін 4,8%-ға, ақуыздардың мөлшерін 10,2%-ға мүмкіндік береді. Май мен көмірсулардың мөлшеріде маш езбесі қосылған сынамаларда (сәйкесінше 4,6% және 9,4%) жоғары болды.

Ет жартылай шикізаттары өндірісінде маш езбесін қолдану құрамында теңестірілген қоректік заттарының мөлшері жоғары тамақтану өнімінің ассортиментік түрін арттырады, алынған

ет езбесі жүйесінің құрылымдық, технология- лық қасиеттерін жақсартады.

Әдебиттер

1. Окусханова Э.К. Разработка технологии мясного паштета с применением акустических методов обработки мясного и вторичного сырья: диссертационная работа д-ра философии (PhD). Семей. -2018. - 153 с.

2. Ахмедова Т.П. Использование пищевых волокон для обогащения пищевых продуктов // Орел: Изд-во ОрелГИЭТ. - 2012. - С.18–22.

3. Зачесова И.А., Страхова С.А., Кузина А.А. Разработка рецептуры паштета из креветок с использованием пшеничной // Вестн. КрасГАУ. -2019. -№ 2. -С.139–142.

4. Kozhabayeva S.A., Sartanova N.T. POULTRY SUBCOMPLEX OF KAZAKHSTAN: PRODUCTION OF TURKEY MEAT// Problem of AgriMarket. -2021. -№3. -P. 100-107. DOI 10.46666/2021-3.2708-9991.11.

5. Sá A.G.A., Moreno Y.M.F., Carciofi B.A.M. Food processing for the improvement of plant proteins digestibility//Critical Reviews in Food Science and Nutrition . -2020. –Vol.60 (20). –P.3367– 3386. DOI 10.1080/10408398.2019.1688249.

6. Chandel K.P.S, Lester R.N., Starling R.J. The wild ancestors of urid and mung beans (Vigna mungo (L.) Hepper and V. radiata (L.) Wilczek)// Botanical Journal of the Linnean Society. -2008. –Vol.89 (1). –P.85 - 96. DOI 10.1111/j.1095-8339.1984.tb01002.x.

7. Айтбаев Т.Е. Маш — перспективная культура для Казахстана / Agro-mart. URL: https://agro-mart.kz/mash-perspektivnaya-kultura-dlya-kazahstana. –Қаралған күні: 21.08.2025.

8. ГОСТ 31473-2012 Мясо индеек (тушки и их части). Общие технические условия. -2013. -12с.

9. ГОСТ 35050-2023 Маш. Технические условия (с Поправкой).-2024. -14с.

10. ГОСТ 9959-2015 Мясо и мясные продукты. Общие условия проведения органолептической оценкию -2016. -28с.

11. ГОСТ 23042-86 Мясо и мясные продукты. Методы определения жира. -2010. -6с.

12. ГОСТ 25011-2017. Мясо и мясные продукты. Методы определения белка. -2018. -25с.

13. Дубровская В.И., Гоноцкий В.А. Продукты из мяса индейки // Птица и птицепродукты. - 2013. - №3. - С.30–32.

14. Kim JW., Kim H.S. Extraction and characterization of mung bean proteins using different alkaline solutions// Food Sci Biotechnol. -2024. -Vol.33(13). -P.3047-3056. DOI 10.1007/s10068-024-01624-x.

15. Эргашев А.Ш., Додаев К.О., Кобилова Г.И., Максумова Д.К. Использование муки из проросших зёрен маш в производстве соус-паст // Universum: технические науки. -2022. -№6(99). -С.34-37. DOI 10.32743/UniTech.2022.99.6.13893.

16. Мирходжаева Д.Д., Джахангирова Г.З. Анализ качества и биологическая ценность машевой муки как потенциального сырья для хлебопекарного производства // Universum: технические науки. -2020. -№ 8(77). -С.29-30.

References

1. Okushanova Je.K. Razrabotka tehnologii mjasnogo pashteta s primeneniem akusticheskih metodov obrabotki mjasnogo i vtorichnogo syr’ ja: dissertacionnaja rabota d-ra filosofii (PhD). Semej. -2018. -153 s.

2. Ahmedova T.P. Ispol’ zovanie pishhevyh volokon dlja obogashhenija pishhevyh produktov // Orel: Izd-vo OrelGIJeT. - 2012. - S.18–22.

3. Zachesova I.A., Strahova S.A., Kuzina A.A. Razrabotka receptury pashteta iz krevetok s ispol’ zovaniem pshenichnoj // Vestn. KrasGAU. -2019. -№ 2. -S.139–142.

4. Kozhabayeva S.A., Sartanova N.T. POULTRY SUBCOMPLEX OF KAZAKHSTAN: PRODUCTION OF TURKEY MEAT// Problem of AgriMarket. -2021. -№3. -P. 100-107. DOI 10.46666/2021-3.2708-9991.11.

5. Sá A.G.A., Moreno Y.M.F., Carciofi B.A.M. Food processing for the improvement of plant proteins digestibility//Critical Reviews in Food Science and Nutrition . -2020. –Vol.60 (20). –P.3367– 3386. DOI 10.1080/10408398.2019.1688249.

6. Chandel K.P.S, Lester R.N., Starling R.J. The wild ancestors of urid and mung beans (Vigna mungo (L.) Hepper and V. radiata (L.) Wilczek)// Botanical Journal of the Linnean Society. -2008. –Vol.89 (1). –P.85 - 96. DOI 10.1111/j.1095-8339.1984.tb01002.x.

7. Ajtbaev T.E. Mash — perspektivnaja kul’ tura dlja Kazahstana / Agro-mart. URL: https://agro-mart.kz/mash-perspektivnaya-kultura-dlya-kazahstana. –Date of access: 21.08.2025.

8. GOST 31473-2012 Mjaso indeek (tushki i ih chasti). Obshhie tehnicheskie uslovija. -2013. -12s.

9. GOST 35050-2023 Mash. Tehnicheskie uslovija (s Popravkoj).-2024. -14s.

10. GOST 9959-2015 Mjaso i mjasnye produkty. Obshhie uslovija provedenija organolepticheskoj ocenkiju -2016. -28s.

11. GOST 23042-86 Mjaso i mjasnye produkty. Metody opredelenija zhira. -2010. -6s.

12. GOST 25011-2017. Mjaso i mjasnye produkty. Metody opredelenija belka. -2018. -25s.

13. Dubrovskaja V.I., Gonockij V.A. Produkty iz mjasa indejki // Ptica i pticeprodukty. - 2013. - №3. - S.30–32.

14. Kim JW., Kim H.S. Extraction and characterization of mung bean proteins using different alkaline solutions// Food Sci Biotechnol. -2024. -Vol.33(13). -P.3047-3056. DOI 10.1007/s10068-024-01624-x.

15. Jergashev A.Sh., Dodaev K.O., Kobilova G.I., Maksumova D.K. Ispol’ zovanie muki iz prorosshih zjoren mash v proizvodstve sous-past // Universum: tehnicheskie nauki. -2022. -№6(99). -S.34-37. DOI 10.32743/UniTech.2022.99.6.13893.

16. Mirhodzhaeva D.D., Dzhahangirova G.Z. Analiz kachestva i biologicheskaja cennost’ mashevoj muki kak potencial’ nogo syr’ ja dlja hlebopekarnogo proizvodstva // Universum: tehnicheskie nauki. -2020. -№ 8(77). -S.29-30.

Авторлар туралы мәліметтер

Конарбаева З.К. - PhD, М.Әуезов атындағы оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан, e-mail: z.konarbayeva@auezov.edu.kz;

Нурсеитова З.Т. - т.ғ.к., доцент, М.Әуезов атындағы оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан, e-mail: nur.zeinep@mail.ru;

Нурынбетова Г.Ж. - магистр, оқытушы. М.Әуезов атындағы оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан, e-mail: gulnur_ailan@mail.ru;

Мулдабекова Б.Ж.- т.ғ.к., профессор, алматы Технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: bayan_1004@mail.ru;

Әбді А.Қ. – магистрант, М.Әуезов атындағы оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан, e-mail: erkewa2001@icloud.com.

Information about the authors

Konarbayeva Z.K. - PhD, M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: z.konarbayeva@auezov.edu.kz;

Nurseitova Z.T. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: nur.zeinep@mail.ru;

Nurynbetova G.Zh. - Master, Lecturer. M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: gulnur_ailan@mail.ru;

Muldabekova B.Zh. - Candidate of Technical Sciences, Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan e-mail: bayan_1004@mail.ru;

Abdi A.K. – Master’ s student, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: erkewa2001@icloud.com.

IRSTI 65.59.03 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-970**

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE GASTROINTESTINAL SYSTEM - QARTA OF THE HORSE

[1]A.T. Kostanova, [1]Sh.B. Baytukenova, [2]S.B. Baytukenova,

[1]NCJSC «S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University», Astana, Kazakhstan,
[2]JSC « K.Kulazhanov Kazakh University of Technology»,Astana, Kazakhstan

Corresponding author: anel_kostanova@mail.ru

The present study provides a comprehensive investigation into the biochemical, nutritional, and physicochemical properties of qarta, the terminal segment of the horse's gastrointestinal tract, traditionally consumed in Kazakh cuisine. Despite its cultural importance and increasing market interest, little is known about the compositional profile of this intestinal material. Boiled qarta samples were analyzed for mass fraction of moisture, fat, protein, ash, pH, water activity (a_w), and functional properties such as water-holding, water-binding, and fat-hiding capacities. Furthermore, cholesterol levels, free amino acid profiles, and fatty acid composition were determined using standardized GOST protocols and modern analytical equipment.

The results revealed that qarta is characterized by a low cholesterol content (29.9±0.72 mg/100g), a high proportion of unsaturated fatty acids (MUFA - 42.5%, PUFA – 17.7%), and a substantial amount of free and essential amino acids (total 41.3%). Functional parameters such as water and fat-binding capacities remained high after boiling, indicating technological suitability for meat processing.

These findings highlight qarta as a valuable source of high-quality protein and lipids, with potential applications in health-oriented and functional food products. The study contributes new insights into the valorization of underutilized meat by-products and supports the development of novel formulations basedon equine tissues.

Key words: horse meat, qarta, gastrointestinal system, nutritional composition.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА ЛОШАДИ ҚАРТА

[1]А.Т. Костанова, [1]Ш.Б. Байтукенова, [2]С.Б. Байтукенова

[1]НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина», Астана, Казахстан,
[2]АО «Казахский университет технологий и бизнеса им. К.Кулажанова», Астана, Казахстан,
e-mail: anel_kostanova@mail.ru

В настоящем исследовании дана всесторонняя характеристика химического состава, пищевой и физико-химической ценности қарта – терминального отдела желудочно-кишечного тракта лошади, традиционно употребляемого в казахской кухне. Несмотря на культурное значение и растущий интерес со стороны рынка, состав этого субпродукта остается малоизученным. Образцы қарта были проанализированы по показателям массовой доли влаги, содержании жира, белка, золы, pH, водной активности (a_w), а также по функциональным свойствам - влагоудерживающей, водосвязывающей и жироудерживающей способности. Кроме того, были определены уровни холестерина, профиль свободных аминокислот и состав жирных кислот с применением стандартов ГОСТ и современных аналитических методов.

Результаты показали, что қарта характеризуется низким содержанием холестерина (29.9±0.72 мг/100г), высоким содержанием ненасыщенных жирных кислот (МНЖК - 42.5%, ПНЖК - 17.7%) и значительным уровнем свободных и незаменимых аминокислот (всего 41.3%). Функциональные свойства сохранялись после термообработки, что указывает на технологическую пригодность қарта для переработки в мясной промышленности.

Полученные данные позволяют рассматривать қарта как ценный источник полноценного белка и липидов с высоким потенциалом для производства деликатесных мясных продуктов питания.

Ключевые слова: конина, қарта, желудочно-кишечный тракт, пищевая ценность.

ЖЫЛҚЫНЫҢ АСҚАЗАН-ІШЕК ЖОЛЫ - ҚАРТАНЫ ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУ

[1]А.Т. Костанова✉, [1]Ш.Б. Байтукенова, [2]С.Б. Байтукенова

[1]«С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан,
[2]«Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті» АҚ, Астана, Қазақстан,
e-mail: anel_kostanova@mail.ru

Бұл зерттеу жұмысы дәстүрлі қазақ деликатесі саналатаын қарта өнімінің - жылқының тоқ ішек бөлігінің - химиялық, тағамдық және физика-химилық қасиеттерін кешенді түрде сипаттайды. Мәдени маңыздылығына қарамастан және нарықта қызығушылықтың артуына қарамастан, бұл өнім түрінің құрамы жеткілікті дәрежеде зерттелмеген. Қарта үлгілері ылғалдың массалық үлесі, май, ақуыз, күл, pH, су белсенділігі (a_w), сонымен қатар технологиялық қасиеттері - ылғал-май ұстағыштық пен су байланыстыру қабілеті бойынша зерттелді. Сонымен қатар холестерин мөлшері, бос аминқышқылдары мен май қышқылдарының құрамы анықталды (СТ ҚР стандарттары және заманауи аналитикалық әдістерімен).

Зерттеу нәтижелері бойынша қарта төмен холестерин құрамымен (29.9±0.72 мг/100г), жоғары моно- және полиқанықпаған май қышқылдарымен (МНМҚ - 42.5%, ПНМҚ - 17.7%) және едәір мөлшердегі бос және алмастырылмайтын аминқышқылдарымен (41.3%) ерекшеленетіні анықталды. Термоөңдеуден кейін де технологиялық қасиеттері жоғары деңгейде сақталған.

Осы нәтижелер қарта өнімін ақуыздар мен майлардың толыққанды көзі ретінде және денсаулыққа пайдалы функционалды өнімдерге арналған шикізат ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: жылқы еті, қарта, ішек-қарын жүйесі, тағамдық құндылық.

Introduction. Horses are unique hindgut fermenters, utilizing a well-developed caecum and colon for microbial digestion of structural carbohydrates and absorption of volatile fatty acids. Despite widespread knowledge of their digestive anatomy, the biochemical composition of equine intestinal tissues, particularly the final segment (rectum, known as qarta in Kazakh culture), remains underexplored. While muscle, adipose, and milk tissues of horses have been frequently characterized for amino and fatty acid profiles [1], little is known about the free amino acids, lipid fractions, and physicochemical properties of qarta.

In Kazakhstan and other Central Asian countries, growing attention has been paid to the valorization of traditional meat by-products as sources of high value nutrients and functional materials. The rational use of edible offal contributes to sustainable meat processing and the creation of functional semi-finished products rich in bioactive compounds. Similar studies emphasize the importance of domestic research in developing technologies for the efficient utilization of by-products within national meat industries [2].

Building upon this background of sustainable processing and traditional product valorization, several domestic studies have focused on improving the quality and sustainability of national meat products. Recent works have demonstrated the development of new-generation Kazakh horse-meat products enriched with natural antioxidants such as goji extract and buckwheat flour, which enhanced oxidative stability and product quality [3].

In Central Asian cuisine, qarta has long been consumed for its unique texture and rich nutritional content. Preliminary evidence suggests that equine intestines may contain high levels of unsaturated fatty acids and free amino acids beneficial for health and digestion (e.g., glutamic acid, taurine, oleic and linoleic acids).

The chemical composition of horse gastrointestinal

tissues - measured by their content of water, fat, protein, minerals, carbohydrates, and other substances - offers essential insight into the nutritional quality of horse meat. These intestinal by-products are increasingly valued in the market due to their distinctive levels of proteins, fats, and glycogen. The high concentration of essential amino acids, balanced fatty acid profiles, and the presence of both macro- and micronutrients make horse meat and its gastrointestinal components especially suitable for individuals with higher nutritional requirements.

Horse meat is particularly digestible due to its high protein, vitamin B12, and iron content, coupled with a low fat (approximately 3%) and cholesterol level [4]. Meat quality is a comprehensive measure that includes nutritional, sensory, hygienic, technological, and processing characteristics [5]. Compared to ruminant or pig meat, horse meat and its intestinal parts are richer in water, proteins, glycogen, iron, and water-soluble vitamins, while containing lower levels of lipids and fat-soluble vitamins, giving them distinct dietary advantages [6].

Regional studies conducted in Kazakhstan confirm that horse meat and its by-products possess a favorable amino acid balance, high digestibility, and good safety indicators under local production conditions. These findings reinforce the nutritional benefits of horse-derived products for functional and health-oriented food applications [7].

With muscle fibers comprising about 70% of horse meat and minimal fat tissue, the meat has favorable dietary properties. Fat content typically ranges between 0.5% and 3.0%, with unsaturated fatty acids accounting for a larger proportion (approximately 56-60%) than saturated ones (around 40%) [8]. Key unsaturated fatty acids include linoleic, linolenic, palmitic, and oleic acids.

Qarta, also known as digestive system in Kazakh culture, is a traditional delicacy prepared from the terminal portion of the horse's large intestine, including the rectum. It is distinct in structure, consisting of a dense outer layer of connective tissue and a fat-rich inner surface, which contributes to its unique texture and taste after cooking. Traditionally, qarta undergoes thorough cleaning and multiple soaking steps to remove odors. It is typically boiled in salted water, often with spices like black pepper and bay leaf, although variations include smoking or drying. Once prepared, it is sliced and served as an appetizer or main dish. In Kazakh culture, qarta is highly valued as a symbol of hospitality, often served to esteemed guests during festive gatherings.

From a nutritional standpoint, qarta differs notably from lean horse meat. While horse meat is recognized for its high protein, low fat, and favorable unsaturated fatty acid profile, qarta contains significantly higher fat levels on its inner surface, increasing its energy value and influencing its sensory properties. Analytical data from experimental studies that horse meat, including gastrointestinal components.

Research by Dufey and Segato et al. [9,10] found that as horses age, fat content increases while water and protein levels decline, though cholesterol levels remain stable throughout aging.

Fat accumulation also increases with age. The proportion of abdominal fat rises from 9.4% at 6 months to 14.2% by 30 months. Similarly, subcutaneous and visceral fat increase with age, whereas intramuscular fat decreases-from 51.4% at 6 months to 43.8% at 30 months.

Genetics significantly influence both the efficiency of horse meat production and the meat' s quality. Although no horse breeds are raised exclusively for meat, heavy cold-blooded breeds are well-suited for this purpose. Meat is also sourced from warm-blooded horses that are no longer viable due to age or injury. Existing studies confirm a strong relationship between genotype and both qualitative and quantitative slaughter traits. For example, analyzed slaughter performance across five French heavy horse breeds aged between 12 and 30 months, demonstrating these genetic correlations.

Materials and methods. In accordance with the set goal and objectives the scheme of research organisation was developed. Experimental work of the research was carried out in the

laboratories of the departments of «Technology of food and processing industries», accredited testing laboratory «Food safety», «Research laboratory for quality assessment and safety of food products», «National Center for Biotechnology» at the «Laboratory of genetics and biochemistry of microorganisms». Theoretical and practical skills were learnt during an internship abroad at the Swedish University of Agricultual Sciences, Department of «Molecular Sciences», Uppsala, Sweden.

The study was conducted on gastrointestinal raw materials of equine origin - specifically, the terminal segment of the large intestine (rectum), traditionally referred to as Qarta in Kazakh culture. Samples were obtained from clinically healthy horses aged 1 to 3 years post-slaughter at a certified meat-processing facility.

Determination of the total composition of meat and meat products. Determination of the chemical composition gives the opportunity to get an idea of the quality of meat and meat products, their nutritional value, depending on the quantitative ratio of moisture, protein fat and mineral substances. The content of basic nutrients in meat products is determined by their recipe and the nature of technological processing.

Determination of moisture content. GOST 9793-2016 [11]. Methods for determining moisture. A sample of ground product weighing 3-5 g, taken to an accuracy of 0.001, dried in a metal bouquet with a glass rod in a desiccator at 150°C for 1 hour or in the apparatus SAL at 150°C for 15 min.

Moisture content is calculated according to the formula:

$$x_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m} \cdot 100$$

where, x_1 - moisture content, %;

m_1 - weight of the bunker with the sample before drying, g;

m_2 - mass of the bucket with the sample after drying, g;

m - weight of the bucket, g.

Determination of fat content. GOST 23042-2015 [12]. Methods of fat determination. The dried sample after determination of moisture is quantitatively transferred into a bouquet and poured 10-15 ml of solvent (petroleum or ethyl ether). Extraction of fat is carried out for 3-4 min with 4-5 times repeated frequency. During the process the suspension is periodically stirred with a glass rod and the solvent is poured each time with the extracted fat. After the last pour the residual solvent is evaporated in air. Buex with defatted sample is dried in a desiccator at 105°C for 10 min.

The fat content is determined according to the formula:

$$x_2 = \frac{m_1 - m_2}{m_0} \cdot 100$$

where, x_2 - fat content, %;

m_1 - weight of bouquet with sample after drying before degreasing, g;

m_2 - mass of the bunker with the sample after degreasing, g;

m_0 - weight of the sample, g.

Determination of ash content. GOST 31727-2012 [13]. Method for determining the mass fraction of total ash. After degreasing the contained bunks are transferred into a pre-calcined and weighed crucible. The residue of the suspension from the walls of the bouquet is washed off with a small amount of solvent, which is then removed by heating on a water bath until it disappears. In the crucible to the dry defatted suspension add 1 ml of magnesium acetate.

The crucible with the suspension is charred on an electric cooker, then placed for 30 min in a muffle furnace, inside which the temperature is 500-600°C.

In the same way 1 ml of magnesium acetate is mineralised.

Ash content is calculated according to the formula:

$$x_3 = \frac{m_1 - m_2}{m_0} \cdot 100$$

where, x_3 - ash content, %;

m_1 - mass of ash, g;

m_2 - mass of magnesium oxide obtained after mineralisation of magnesium acetate solution, g;

m_0 - mass of suspension, g.

Determination of protein content. GOST 25011-2017 [14]. Methods for determining the mass fraction of protein. Protein content is determined by calculation according to the formula:

$$x = 100 - (x_1 + x_2 + x_3)$$

where, x - protein content, %;

x_1 - moisture content, %;

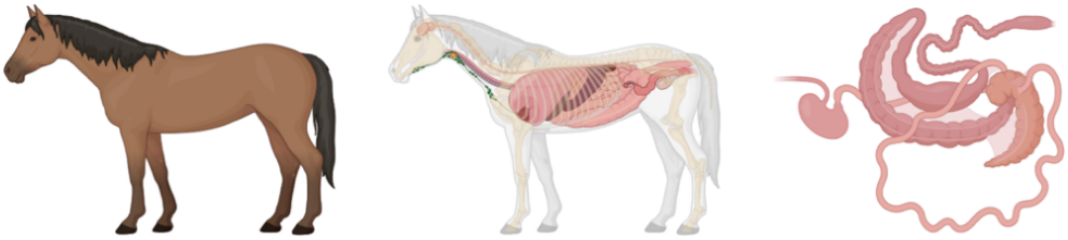
x_2 - fat content, %.

Ash content, petroleum or ethyl ether, magnesium acetate solution.

GOST 32886-2014 [15]. Determination of cholesterol content by gas chromatographic method. This method is used to quantify the amount of cholesterol present in various meat and poultry samples. The standard outlines the procedures for sample preparation, analysis, and calculation of results, ensuring consistent and reliable measurements of cholesterol levels.

Determination of amino acids composition. GOST 34132-2017 [16]. Chromatographic method for determining the amino acid composition of meat proteins, including poultry meat, offal, meat and meat-containing products, as well as products made from poultry meat.

Determination of fatty acid composition. GOST 34987-2023 [17]. This standard applies to slaughter products (meat, offal) of all types of slaughtered animals and poultry, as well as meat products (including canned meat and meat–containing products), including poultry meat (hereinafter referred to as meat products), and establishes the following methods for determining fatty acid composition: - a method for determining the mass fraction of fatty acids in the form of methyl esters using gas chromatography with a flame ionization detector (GC-PID) with a measurement range from 0.1% to 100% - a method for determining the mass fraction of saturated fatty acids using near-infrared spectroscopy (BIC spectroscopy) with a measurement range from 0.4% to 80.0 %.



Horse (1-3 years) **Carcass of horse** **Digestive system of horse**

Fig.1 - Anatomical diagram of the horse and its gastrointestinal system

Determination of fat-holding capacity (FHC). GOST 23042-2015 [18]. This standard applies to meat and meat products and establishes methods for determining fat content and fat-holding capacity (FHC), as well as moisture-holding capacity (MHC). The fat-holding capacity is determined by thermal treatment of the sample followed by gravimetric analysis of fat released. The moisture-holding capacity is calculated based on mass loss after heating in a water bath at 70±2°C for 15 minutes and subsequent pressing and weighing.

GOST 25179-90 [19]. This standard describes a refractometric method for determining the protein mass fraction, which. Is widely adapted in research and analytical practice for meatraw material. In meat analysis, this method is used to estimate the refractive index of aqueous meat extracts, indirectly reflecting the protein content, and is applied to assess moisture-retaining properties.

Determination of water-binding capacity (WBC).

Method of Vartanyan (Pressing Method) [20]. This mthod is used for determining the water-binding capacity (WBC) of meat and is based on compressing a ground meat sample between filter paper layers under a standardized pressure (1 kg load for 10 minutes at room temperature). The moisture area (exudate) formed is measured using planimetry.

Figure 1 provides a schematic overview of the horse's digestive anatomy. The entire gastrointestinal tract is depicted, highlighting the large intestine and its terminal section – the rectum – traditionally known as qarta in Kazakh culture. The caecum, colon, and rectum are clearly visualized, establishing anatomical context for the studied tissue.

A detailed figure 2 of the horse's large intestine, emphasizing the colon's length, thickness, and internal structural features. The image offers visual clarity for understanding where qarta originates and its relation to other digestive organs.

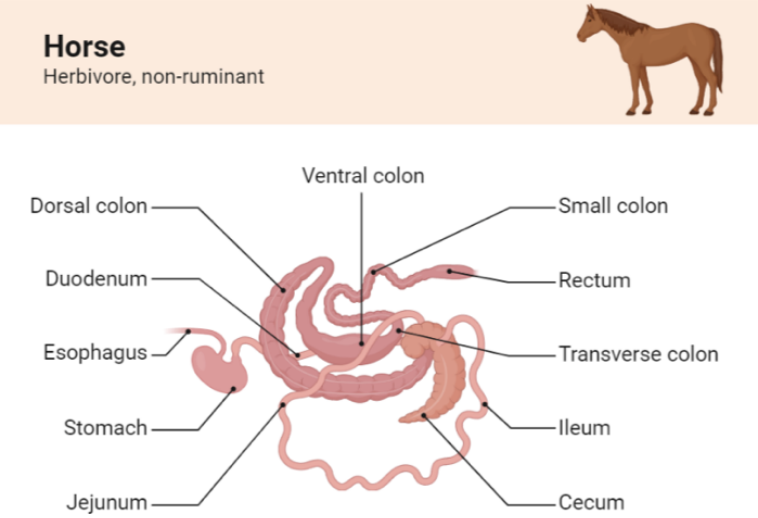


Fig.2 - The anatomy of the gastrointestinal tract in horse



a) **b)**

Fig.3 - Intestinal raw materials of horse meat - qarta (a) external; b) internal)

Figure 3 shows the external and internal surface of qarta. The outer layer appears dense and fibrous, composed largely of connective tissue, while the inner layer displays visible fat deposits – a key contributor to qarta's flavor and texture upon cooking.



Fig.4 - Cross-sectional view of Qarta, showing fat-muscle structure

The cross-section reveals the layered architecture of qarta: a fatty inner surface juxtaposed with muscular and connective tissue structures. This figure 4 reinforces qarta's technological characteristics relevant for culinary and meat-processing applications.

Results and discussion. Chemical composition of fresh gastrointestinal tract from cattle, pig, and horse, as well as the boiled products derived from these animals. Their analysis revealed that the water activity (a_w) values in boiled meats from bovine, horse, and pig are consistent with expected standards for such products. Notably, the pH levels were generally high, except in the case of horse meat, which may indicate ongoing proteolytic activity driven by endo- and exoenzymes produced by microorganisms involved in the curing and ripening process (Table 1, 2).

Fresh qarta demonstrated high moisture (60.46%) and fat (21.61%) content, with moderate protein levels (9.56%). The pH value (6.12%) and high water acivity (0.94%) suggest susceptibility to microbial growth, requiring proper processing. Functional indicators (WHC, WBC, FHC) were relatively high, indicating good technological potential.

Table 1 - pH, a_w content of fresh gastrointestinal tract of horse after thawing

Name of indicators, unit of measurement	Actual results
pH under the hood, %	6.12±0.06
aw, %	0.94±0.01
Mass fraction of moisture, %	60.46±0,91
Mass fraction of proteins, %	9.56±0.14
Mass fraction of fats, %	21.61±0.32

Water-holding capacity (WHC) , %	45.87±0.20
Water-binding capacity (WBC) , %	24.96±0.96
Fat-holding capacity (FHC) , %	44.91±0.14
Ash, %	1.3±0.09

Boiling led (Table 2) to a reduction in moisture (52.10%) and fat (15.84%), while protein content increased significantly to 19.11% due to water loss. Functional parameters (WHC, WBC, FHC) slightly decreased but remained within acceptable technological limits. Ash content increased to 7.7% reflecting mineral concentration after cooking.

Table 2 - pH, a_w and approximate content in final boiled gastrointestinal tract

Name of indicators, unit of measurement	Actual results
pH under the hood, %	5.81±0.15
aw, %	0.90±0.02
Mass fraction of moisture, %	52.10±0.93
Mass fraction of proetins, %	19.11±0.28
Mass fraction of fats, %	15.84±0.24
Water-holding capacity (WHC) , %	38.41±0.57
Water-binding capacity (WBC) , %	18.84±0.28
Fat-holding capacity (FHC) , %	38.41±0.57
Ash, %	7.7±0.22

Among all the meats studied, boiled horse meat exhibited the lowest cholesterol content, a finding of particular nutritional interest. Horse meat stood out for its notably significant level of polyunsaturated fatty acids. Meat products had a moderate level of these fatty acids, whereas bovine products had the lowest (Table 3). Cholesterol level was measured at 29.9mg/100g, which is notably low compared to traditional red meats.This reinforces the dietary suitability of horse-derived gastrointestinal products for individuals with cardiovascular concerns.

Table 3 - Levels of cholesterol (mg/100 g) in final boiled meat products

Name of indicators, unit of measurement	Actual results
Cholesterol, %	29.9±0.72

The fatty acid profile of boiled qarta showed dominance of monounsaturated (MUFA – 42.5%) and polyunsaturated fatty acids (PUFA – 17.7%), especially oleic and linoleic acids. Saturated fatty acids (SFA) accounted for 39.84%. This composition highlights qarta's favorable lipid profile with potential health benefits (Table 4).

Table 4 - Content of fatty acids (%) of gastrointestinal raw material of final boiled qarta

Name of indicators, unit of measurement	Actual results
Saturated fatty acids (SFA), %	
C10:0 capric fatty acid	0.095±0.005
C12:0 lauric fatty acid	0.159±0.009
C14:0 miristinic fatty acid	3.265±0.163
C15:0 pentadecanoic fatty acid	0.492±0.025
C16:0 palmitic fatty acid	28.996±1.450
C17:0 margaric fatty acid	0.606±0.030
C18:0 stearic fatty acid	5.892±0.295
C21:0 geneticosanic fatty acid	0.170±0.009
C22:0 behenoic fatty acid	0.055±0.003
C23:0 tricosanoic fatty acid	0.113±0.006
Monounsaturated fatty acid (MUFA), %	
C14:1 (cis-9) myristoleic fatty acid	0.229±0.011
C15:1 (cis-10) pentadecenoic fatty acid	0.046±0.002
C16:1 (cis-9) palmitoleic fatty acid	5.999±0.300
C17:1 (cis-10) margarinoleic fatty acid	0.632±0.032
C18:1 (trans-9) oleinic fatty acid	0.023±0.001
C18:1 (cis-9) oleinic fatty acid	35.025±1.751
C20:1 (cis-11) eicosenoic fatty acid	0.393±0.020
C22:1 (cis-13) erucic fatty acid	0.048±0.002
C24:1 (cis-15) selacholic fatty acid	0.059±0.003
Polyunsaturated fatty acid (PUFA), %	
C18:2n6c linoleic fatty acid	14.420±0.721
C18:3n6 Y- linoleic fatty acid	3.012±0.151
C18:3n3 linoleic fatty acid	0.035±0.002
C20:3n6c (cis-8,11,14) eicosatrienoic fatty acid	0.235±0.012
Total SFA	39.843±1.995
Total MUFA	42.454±2.122
Total PUFA	17.702±0.886

Boiled qarta contained a high total level of free amino acids (13 177.93 mg/100g), including essential amino acids (5 455.56mg/100g or 41.3%). Dominant amino acids included glutamic fatty acid, aspartic fatty acid and leucine. This confirms qarta as a valuable source of high-quality, bioavailable protein.

Table 5 - Free amino acids (mg/100g) in final boiled qarta

Name of indicators	Actual results
ASP	1334.96±133.50
THR	645.45±64.55
SER	607.69±60.77
GLU	2056.64±205.66
PRO	647.45±24.55
GLY	602.09±60.21
ALA	722.37±72.24
VAL	487.06±48.71
CYS	210.48±21.05
MET	330.76±33.08
ILE	558.74±55.87
LEU	1044.75±104.48
TYR	480.41±48.04
PHE	599.30±59.93
LYS	1216.08±121.61
HIS	573.42±57.34
ARG	975.52±97.55
TOTAL	13 177.93
Essential amino acids (%)	5 455.56 (41.3%)

Conclusion. The present study comprehensively characterizes the biochemical, nutritional, and functional properties of qarta, as traditional Kazakh meat delicacy derived from the terminal segment of the horse's gastrointestinal tract. The analysis revealed that qarta is a valuable source of high-quality protein (notably rich in essential amine acids), unsaturated fatty acids (particularly oleic and linoleic acids), and minerals. Despite its anatomical origin, qarta displayed favorable technological characteristics, including strong water- and fat-binding capacities, even after thermal processing.

Notably, qarta contains significantly lower cholesterol levels than conventional red meats, while offering a superior lipid profile – making it a promising ingredient for health-oriented and delicatessen food products. The considerable content of free and essential amina acids further enhances its biological value and digestibility, supporting its potential role in dietary formulations for vulnerable or nutritionally demanding populations.

These findings contribute novel scientific data to the underexplored area of equine by-product utilization and offer a foundation for the valorization of qarta in meat science, gastronomy, and food technology. Given the increasing market demand for culturally rooted, protein-rich, and nutritionally balanced foods, qarta holds considerable potential both as a traditional product and as a functional ingredient in modern meat processing and product development.

Литература

1. Petrov K. A. Dudareva, L. V., Nokhsorov, V. V., Stoyanov, K. N., & Makhutova, O. N. Fatty acid content and composition of the Yakutian horses and their main food source: living in extreme winter conditions //Biomolecules.-2020.-Vol.10(2). - P.315. DOI 10.3390/biom10020315.

2. Alibekov R. S. Alibekova Z. I., Bakhtybekova A. R., Taip F. S., Urazbayeva K. A., Kobzhasarova Z. I. Review of the slaughter wastes and the meat by-products recycling opportunities // Frontiers in Sustainable Food Systems. -2024.- Vol.8.- P.1-17. DOI 10.3389/fsufs.2024.1410640.

3. Uzakov Y. M., Kaldarbekova M. A., Kuznetsova O. N. Improved technology for new-generation Kazakh national meat products // Foods and Raw Materials.- 2020.-Vol.8(1)- P.76–83. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-76-83.

4. Dobranić V. et al. Chemical composition of horse meat //MESO: Prvi hrvatski časopis o mesu. – 2009. - Vol.11.(1)1. - P.62-38.

5. Martin-Rosset W., Boccard R., Jussiaux M., Robelin J., Trillaud-Geyl C. (1980): Rendement et composition des carcasses du poulain de boucherie // Bulletin Technique Centre de Recherches Zootechniques et Veterinaires de Theix. -1980.- № 41. P.57-64. ISSN 0395-7519.

6. Martin-Rosset W. (2001)Horse meat production and characteristics.52 nd Annual Meeting EAAP, Budapest,- P.26-29.

7. Maikanov B. S., Ismagulova G. T., Auteleyeva L. T., Kemeshov Z. O., Zhanabayeva D. K. Assessment of quality and safety of meats from various animal species in the Shuchinsk-Burabay resort zone, Kazakhstan//Veterinary World.-2021- Vol.14(6).- P.1615-1621. DOI 10.14202/vetworld.2021.1615-1621.

8. Makray S. et al. Evaluation of dietary value of horse meat //Acta agriculturae Slovenica. Supplement. - 1998. – Vol.30. - C.209-212. DOI 10.14720/aas-s.1998.30.19628

9. Dufey P. A. Proprietes sensorielles et physico-chimiques de la viande de chevaux de differentes categories d’ age //Revue suisse d’ agriculture.-1999.- Vol.31(3)- P.157-161.

10. Segato, S., Cozzi, G., & Andrighetto, I. (1999) Effect of animal morphotype, sex and age on quality of horse meat imported from Poland. In: Proceedings of the ASPA XIII Congress (pp.674-676), Piacenza (Italy), June 21st–24th.

11. ГОСТ 9793-2016. Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли влаги. - М.: Стандаринформ, 2016. - 6 с.

12. ГОСТ 23042-2015. Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли жира. - М.: Стандаринформ, 2015. - 10 с.

13. ГОСТ 31727-2012. Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли золы. - М.: Стандаринформ, 2012. - 8 с.

14. ГОСТ 25011-2017. Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли белка. - М.: Стандаринформ, 2017. - 9 с.

15. ГОСТ 32886-2014. Мясо и мясные продукты. Определение содержания холестерина методом газовой хроматографии. - М.: Стандаринформ, 2014.

16. ГОСТ 34132-2017. Мясо и мясные продукты. Метод определения аминокислотного состава методом ионообменной хроматографии. - М.: Стандаринформ, 2017. - 18 с.

17. ГОСТ 34987-2023. Продукты убоя животных и птицы. Метод определения жирнокислотного состава (ГХ–ПИД, NIRS). - М.: Стандаринформ, 2023. - 22 с.

18. ГОСТ 23042-2015. Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли жира / Межго-

сударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. - М.: Стандаринформ, 2016. - 13 с.

19. ГОСТ 25179-90. Молоко и молочные продукты. Рефрактометрический метод определения белка / Госкомитет СССР по стандартам. - М.: Издательство стандартов, 1991. - 7 с.

20. Антипова Л. В., Глотова И. А., Рогов И. А. Методы исследования мяса и мясных продуктов. - М.: Колос, 2001.- 376 с. ISBN 5-10-003612-5

References

1. Petrov K. A. Dudareva, L. V., Nokhsorov, V. V., Stoyanov, K. N., & Makhutova, O. N. Fatty acid content and composition of the Yakutian horses and their main food source: living in extreme winter conditions //Biomolecules.-2020.-Vol.10(2). - P.315. DOI 10.3390/biom10020315.

2. Alibekov R. S. Alibekova Z. I., Bakhtybekova A. R., Taip F. S., Urazbayeva K. A., Kobzhasarova Z. I. Review of the slaughter wastes and the meat by-products recycling opportunities // Frontiers in Sustainable Food Systems. -2024.- Vol.8.- P.1-17. DOI 10.3389/fsufs.2024.1410640.

3. Uzakov Y. M., Kaldarbekova M. A., Kuznetsova O. N. Improved technology for new-generation Kazakh national meat products // Foods and Raw Materials.- 2020.-Vol.8(1)- P.76–83. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-76-83.

4. Dobranić V. et al. Chemical composition of horse meat //MESO: Prvi hrvatski časopis o mesu. – 2009. - Vol.11.(1)1. - P.62-38.

5. Martin-Rosset W., Boccard R., Jussiaux M., Robelin J., Trillaud-Geyl C. (1980): Rendement et composition des carcasses du poulain de boucherie // Bulletin Technique Centre de Recherches Zootechniques et Veterinaires de Theix. -1980.- № 41. P.57-64. ISSN 0395-7519.

6. Martin-Rosset W. (2001)Horse meat production and characteristics.52 nd Annual Meeting EAAP, Budapest,- P.26-29.

7. Maikanov B. S., Ismagulova G. T., Auteleyeva L. T., Kemeshov Z. O., Zhanabayeva D. K. Assessment of quality and safety of meats from various animal species in the Shuchinsk-Burabay resort zone, Kazakhstan//Veterinary World.-2021- Vol.14(6).- P.1615-1621. DOI 10.14202/vetworld.2021.1615-1621.

8. Makray S. et al. Evaluation of dietary value of horse meat //Acta agriculturae Slovenica. Supplement. - 1998. – Vol.30. - C.209-212. DOI 10.14720/aas-s.1998.30.19628

9. Dufey P. A. Proprietes sensorielles et physico-chimiques de la viande de chevaux de differentes categories d’ age //Revue suisse d’ agriculture.-1999.- Vol.31(3)- P.157-161.

10. Segato, S., Cozzi, G., & Andrighetto, I. (1999) Effect of animal morphotype, sex and age on quality of horse meat imported from Poland. In: Proceedings of the ASPA XIII Congress (pp.674-676), Piacenza (Italy), June 21st-24th.

11. GOST 9793-2016. Mjaso i mjasnye produkty. Metod opredelenija massovoj doli vlagi. - M.: Standarinform, 2016. - 6 s. [in Russian]

12. GOST 23042-2015. Mjaso i mjasnye produkty. Metod opredelenija massovoj doli zhira. - M.: Standarinform, 2015. - 10 s. [in Russian]

13. GOST 31727-2012. Mjaso i mjasnye produkty. Metod opredelenija massovoj doli zoly. - M.: Standarinform, 2012. - 8 s. [in Russian]

14. GOST 25011-2017. Mjaso i mjasnye produkty. Metod opredelenija massovoj doli belka. - M.: Standarinform, 2017. - 9 s. [in Russian]

15. GOST 32886-2014. Mjaso i mjasnye produkty. Opredelenie soderzhanija holesterina metodom gazovoj hromatografii. - M.: Standarinform, 2014. [in Russian]

16. GOST 34132-2017. Mjaso i mjasnye produkty. Metod opredelenija aminokislotnogo sostava metodom ionoobmennoj hromatografii. - M.: Standarinform, 2017. - 18 s. [in Russian]

17. GOST 34987-2023. Produkty uboja zhivotnyh i pticy. Metod opredelenija zhirnokislotnogo sostava (GH–PID, NIRS). - M.: Standarinform, 2023. - 22 s. [in Russian]

18. GOST 23042-2015. Mjaso i mjasnye produkty. Metod opredelenija massovoj doli zhira / Mezhgosudarstvennyj sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii. - M.: Standarinform, 2016. - 13 s. [in Russian]

19. GOST 25179-90. Moloko i molochnye produkty. Refraktometricheskij metod opredelenija belka / Goskomitet SSSR po standartam. - M.: Izdatel’ stvo standartov, 1991. - 7 s. [in Russian]

20. Antipova L. V., Glotova I. A., Rogov I. A. Metody issledovanija mjasa i mjasnyh produktov. - M.: Kolos, 2001.- 376 s. ISBN 5-10-003612-5. [in Russian]

Information about the authors

Kostanova A.T.- PhD student, NJSC «S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University», Astana, Kazakhstan, e-mail: anel_kostanova@mail.ru;

Baytukenova Sh. B. - candidate of technical sciences, associate professor, NJSC «S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University», Astana, Kazakhstan, e-mail: baytukenova75@mail.ru;

Baytukenova S.B. - candidate of technical sciences, associate professor, JSC «K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business», Astana, Kazakhstan, e-mail: saule7272@mail.ru.

Сведения об авторах

Костанова А.Т. - докторант НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина», Астана, Казахстан, e-mail: anel_kostanova@mail.ru;

Байтукенова Ш.Б. - кандидат технических наук, и.о. ассоциированного профессора НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина», Астана, Казахстан, e-mail: baytukenova75@mail.ru;

Байтукенова С.Б. - кандидат технических наук, и.о. ассоциированного профессора АО «Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова», Астана, Казахстан, e-mail: saule7272@mail.ru.

ҒТАМР 65.65.03 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1067**

ӨСІМДІК ШИКІЗАТЫ НЕГІЗІНДЕ ЭМУЛЬСИЯЛЫҚ ӨНІМДЕРДІ АЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ

[1]М.Е. Смагулова, [2]Ш.Ж. Жасқайрат, [2]Н.С. Машанова, [2]М.Е. Бекболатова

[1]К.Кулажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[2]С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан

Корреспондент-автор: shynarai_92@mail.ru

Бұл мақалада өсімдік шикізаты негізінде эмульсиялық өнімдерді алу технологиясын әзірлеуде эмульсиялық өнімнің рецептурасы, органолептикалық және физико-химиялық көрсеткіштері, сонымен қатар өнімнің тағамдық және энергетикалық құндылығы май қышқылдық құрамының талдау нәтижелері көрсетілген. Талдау нәтижелері бойынша эмульсиялық өнімнің органолептикалық және физика-химиялық көрсеткіштері дәстүрлі тұздықпен салыстыра отырып анықталды, яғни сыртқы түрі қаймақ тәрізді, консистенциясы біртекті, иіс пен дәм бойынша нәзік дәм, ащы емес, қышқылдау, ашық сары түске ие. Эмульсиялық өнімдердің физика-химиялық көрсеткіштері: ылғалдылығы - 51,3%, pH қышқылдығы - 3,6, эмульсия тұрақтылығы - 100 %. Эмульсиялық өнімнің тағамдық құндылығы: май - 45%, ақуыз - 3%, көмірсу - 4%, энергетикалық құндылығы – 432 ккал. Эмульсиялық өнімнің май қышқылдық құрамы: линолен кышқылы – 9,8; линол қышқылы – 27,2 көрсетті, яғни ω-3:ω-6 полиқанықпаған май қышқылдарының қатынасы 1:4-ке тең.

Түйін сөздер: майонез, физико-химиялық көрсеткіштер, органолептикалық көрсеткіштер, энергетикалық құндылық, тағамдық құндылық, май қышқылдық құрам

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭМУЛЬСИОННЫХ ПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

[1]М.Е. Смагулова, [2]Ш.Ж. Жасқайрат, [2]Н.С. Машанова, [2]М.Е. Бекболатова

[1]Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
[2]Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, Астана, Казахстан,
e-mail: shynarai_92@mail.ru

В данной статье представлены рецептура, органолептические и физико-химические показатели эмульсионного продукта при разработке технологии получения эмульсионных продуктов на основе растительного сырья, а также результаты анализа жирнокислотного состава пищевой и энергетической ценности продукта. По результатам анализа были определены органолептические и физико-химические показатели эмульсионного продукта по сравнению с традиционным соусом, т. е. по внешнему виду кремообразный, по консистенции однородный, по запаху и вкусу тонкий вкус, не горький, не кисловатый, имеет светло-желтый цвет. Физико-химические показатели эмульсионных продуктов: влажность-51,3%, кислотность pH - 3,6, стабильность эмульсии - 100%. Пищевая ценность эмульсионного продукта: жиры-45%, белки - 3%, Углеводы - 4%, Энергетическая ценность - 432 ккал. Жирнокислотный состав эмульсионного продукта:линоленовая кислота - 9,8; линолевая кислота - 27,2, т. е. соотношение ω-3:ω-6 полиненасыщенных жирных кислот равно 1: 4.

Ключевые слова: майонез, физико-химические показатели, органолептические показатели, энергетическая ценность, пищевая ценность, жирнокислотный состав

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR OBTAINING EMULSION PRODUCTS BASED ON PLANT RAW MATERIALS

[1]M.E. Smagulova, [2]Sh.Zh. Zhaskairat, [2]N.S. Mashanova, [2]M.E. Bekbolatova

[1]*K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,*
[2]*Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University Astana, Kazakhstan,*
e-mail: shynarai_92@mail.ru

This article presents the formulation, organoleptic and physicochemical indicators of the emulsion product in the development of technology for obtaining emulsion products based on plant raw materials, as well as the results of the analysis of the fatty acid content of the food and energy value of the product. According to the results of the analysis, the organoleptic and physico-chemical indicators of the emulsion product were determined in comparison with traditional sauce, that is, the appearance is creamy, the consistency is homogeneous, the taste is delicate in smell and taste, not bitter, souring, has a light yellow color. Physico-chemical indicators of emulsion products: humidity - 51.3%, PH acidity - 3.6, emulsion stability - 100 %. Nutritional value of the emulsion product: fat - 45%, protein - 3%, carbohydrate - 4%, energy value - 432 kcal. Fatty acid composition of the emulsion product: linolenic acid – 9.8; linoleic acid – 27.2, i.e. the ratio of ω-3:ω-6 polyunsaturated fatty acids is 1:4.

Keywords: mayonnaise, physico-chemical indicators, organoleptic indicators, energy value, nutritional value, fatty acid content

Кіріспе. Эмульсиялық май өнімдерін пайдалану - бұл халықтың тамақтану құрылымын оңтайландыру және диетаны қажетті майлармен толтыру тәсілі. Өсімдік майлары ағзаны адамның физиологиялық белсенді май қышқылдарымен қамтамасыз етеді, қандағы холестеринді төмендетеді және атеросклероздың алдын алуға көмектеседі. Дегенмен, дәстүрлі түрде еліміздің халқы күнбағыс майын тамақ үшін пайдаланады, ал өндірушілер майонез өнімдерін дайындау үшін де тек күнбағыс майын пайдаланады. Майды тұтыну май қышқылдары мен биологиялық белсенді заттардың құрамын ескерусіз жүреді. Өсімдік майларының биологиялық құндылығы - фосфолипидтер, стеролдар, майда еритін дәрумендер, эфир майларына байланысты [1].

Эмульсиялық тамақ өнімдерінің тұтынушылық қасиеттерін қалыптастыру кезінде жоғары беріктігі бар шоғырланған және жоғары концентрацияланған эмульсияларды алу міндеті қойылады. Егер тек май мен су фазалары гомогенизацияланса, жүйе әртүрлі механизмдер, соның ішінде тамшылардың флоккуляциясы, коалесценция, Оствальдтың жетілуі және гравитациялық бөліну арқылы тез бұзылады. Сондықтан тамақ эмульсияларының формулаларында дисперсті жүйенің фазаларының бірінде еритін эмульгаторларды қолдану қажет [2].

Майонез құрамының көп компонентті болуын және эмульгаторлық компонент ретінде шикізаттың түрлі ассортиментін пайдалану мүмкіндігін ескерсек, өндірілетін өнім ассортиментін кеңейту перспективалары өте әсерлі болып табылады. Азық-түлік технологиясын дамытудағы негізгі үрдіс физиологиялық функционалды тамақтануға арналған өнімдерді өндіру болып табылады [3].

Майонез, осы тұрғыдан алғанда, перспективалы тағам болып табылады. Бұл күрделі, көп компонентті жүйе, сондықтан рецептке дайын өнімнің биологиялық құндылығын арттыратын қоспаларды енгізу мүмкіндігі бар. Мұндай қоспалар ретінде ақуыздар, майлар, көмірсулар, дәрумендер, минералдар бар табиғи кешендерді енгізу өте тиімді. Майонездің компоненттік құрамы оларды функционалдық ингредиенттердің барлық түрлерімен байытуға мүмкіндік береді: тағамдық талшықтармен, витаминдермен, минералды заттармен, омега - 3 май қышқылдарымен, майда еритін антиоксиданттармен және т. б. [4].

Майонез және соған ұқсас тұздықтар құрамында полиқанықпаған май қышқылдары және түрлі дәмдік қоспалары жоғары сұйық өсімдік майларына негізделген көп компонентті өнімдер болып табылады. Майонез өнімдерінде ақуыз, май ингредиенттерінің, судың болуы биохимиялық және автокаталитикалық тотығу реакцияларының белсендірілуіне әкелетін микробиологиялық, гидролитикалық, тотығу процестерінің қатар жүруіне мүмкіндік береді. Бұл

тамақ өнімдерінің органолептикалық қасиеттерінің нашарлауына әкеліп соқтырады, сонымен қатар оның тағамдық құндылығын, соның ішінде биологиялық құндылығын төмендетеді, бұл өмірлік маңызды май қышқылдарының тотығуымен, сондай-ақ каротиноидтардың, токоферолдардың және басқа биологиялық белсенді заттардың жойылуымен байланысты [5].

Материалдар мен әдістер. Зерттеу нысаны ретінде С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университетінің «Тамақ және қайта өңдеу өндірісінің технологиясы» кафедрасындағы «Майлы дақылдарды қайта өңдеуге арналған тәжірибелік-өндірістік цехында» өндірілген зығыр және күнбағыс майлары алынды. Жұмыс барысында қолданылатын барлық компонентер қолданыстағы нормативтік-техникалық құжаттаманың талаптарына сәйкес.

Эмульсиялық өнімді зерттеу әдістері. Өнімнің эмульсиялық тұрақтылығын анықтау ГОСТ 31762-2012. Эмульсияның тұрақтылығының көрсеткіші – күшті механикалық және жылулық әсерлердің нәтижесінде майонезден бөлінетін майдың мөлшері. Майонез эмульсиясы жоғары температурада (45°С-тан жоғары) тұрақты емес және қыздырылған кезде құрамға кіретін басқа өнімдердің тамшы тәрізді ұсақ, анық көрінетін қоспалары бар таза өсімдік майына оңай ыдырайды.

Ылғалдың массалық үлесі ГОСТ 31762-2012 сәйкес анықталды. Бұл әдіс өнім сапасы жағынан күдіктер туғызғанда және ылғалдың массалық үлесі 1,0%-дан 95,0%-ға дейінгі аралықта болғанда қолданылады.

Өнімнің pH – көрсеткішін анықтау. Потенциометриялық әдіс талданатын үлгіге батырылған екі электродтың (өлшеу және эталондық электрод) арасындағы потенциалдар айырмасын өлшеуге негізделген.

Өнімнің энергетикалық құндылығы макронутриенттердің мөлшерін энергетикалық құндылық факторларымен (кДж) қайта есептеу арқылы анықталды: ақуыздар мен көмірсулар үшін - 4, майлар үшін - 9.

Дайын өнімнің органолептикалық көрсеткіштерін бағалау ГОСТ 28283-2015 сәйкес дегустация әдісімен өткізілді. Келесі көрсеткіштер бақыланады: иісі, дәмі, консистенциясы, сыртқы түрі және түсі, олар сандық балл арқылы өрнектелді. Бағалау 5 балдық шкала бойынша жүргізілді, содан кейін профилограммалар салынды.

Өнімнің май қышқылды құрамын анықтау – капиллярлық газ хроматографиясы әдісі арқылы орындалды.

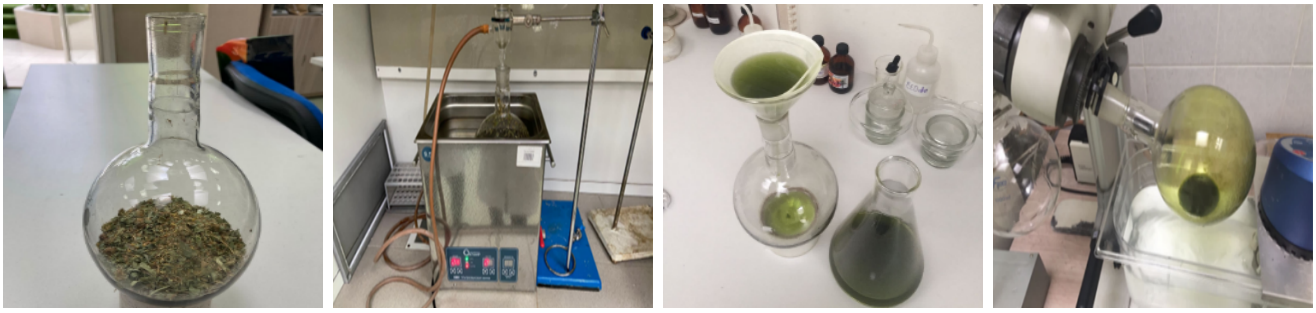
Сығынды үлгілерін зерттеу әдістері. Primula veris (L.) сығындыларында жеке фенолдық қосылыстар өнімділігі жоғары сұйық хроматография (HPLC) әдісімен анықталды.

Сығындының құрамындағы суда еритін дәрумендерді анықтау үшін жоғары тиімді сұйық хроматография (HPLC) әдісі ГОСТ 34151-2017 сәйкес қолданылды. С дәруменінің құрамы L(+)-аскорбин және L(+)-дегидроаскорбин қышқылдарының қосындысы түрінде анықталады.

Нәтижелер мен талқылау. Primula veris сығындысын дайындау және оның эмульсиялық өнімге әсері. Primula veris L. кептірілген жапырақтары IKA type A 11 негізгі аналитикалық диірменінде ұсақталды , содан кейін 100 г ұсақталған материал өлшеніп, экстракциялық колбаларға салынып, 500 мл еріткішпен араластырылды.1 а, ә, б, в - суретте Primula veris сығындысын дайындалуы көрсетілген.

Термостат функциясы бар Polsonic Sonic 22 ультрадыбыстық ваннасына 70 °С температурада 60 минутқа орналастырылды. Экстракция үшін 1:3 қатынасында дистилденген су және 70% спирт бар этанол қолданылды. Ультрадыбыспен экстракция аяқталып, кейін алынған сығынды сүзгі қағазы арқылы сүзілді. Содан кейін RV 10 digital V айналмалы буландырғышта сүзінді 30 минут ішінде айдалып, тұнған сұйықтық, яғни алынған дайын қою сығынды бөлек таза пробиркаларға құйылды. Primula veris сығындысын дайындауда Tarapatskyy M т.б. авторлар терең зерттеулер жүргізген [6,7].

Р. Veris-те анықталған фенолдық қосылыстар мөлшері 1-кестеде көрсетілген.



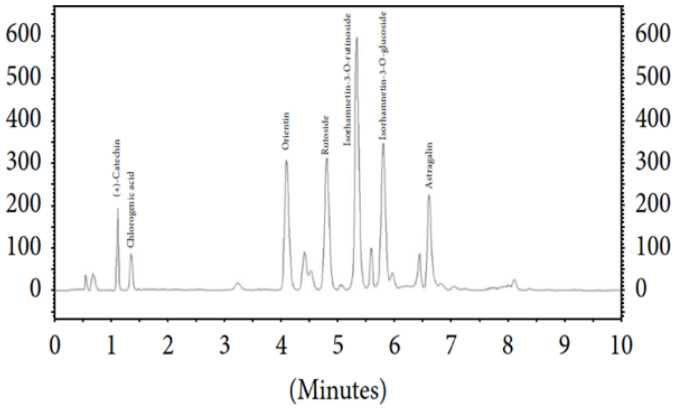
а **ә** **б** **в**

1 - сурет. Primula veris сығындысын дайындау

1-кесте. P. Veris-те анықталған фенолдық қосылыстар (мг/100 г)

Атаулары	Мөлшері
Катехин	312,11
Ориентин	204,23
Рутозид	630,83
Изорамнетин-рутинозид	740,24
Изорамнетин-гликозид	448,45
Астрагалин	185,07
Хлорген қышқылы	72,84

1-кестеде көрсетілгендей P. Veris-те анықталған фенолдық қосылыстардың ішінде ең көп изорамнетин-рутинозид - 740,24 және рутозид - 630,83 флавоноидтары байқалды.5-ші суретте Primula veris сығындысындағы фенолды қосылыстардың хроматограммасы келтірілген.



2-сурет. Primula veris сығындысындағы фенолды қосылыстардың хроматограммасы

Иванова Д.Ф. ғылыми-тәжірибелік жұмысында Primula veris сығындысының құрамындағы фенолды қосылыстар мен аскорбин қышқылын анықтаған [8]. Зерттеу нәтижесінде сығынды құрамында алты флавоноидты қосылыстардың болуын растайды, атап айтқанда:

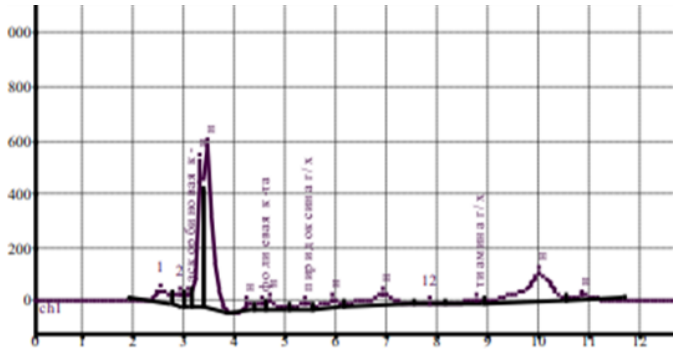
ориентин (лютеолин-8-С-глюкозид), рутозид (кверцетин 3-О-рутинозид), изорамнетин-3-о-рутинозид, изорамнетин-3-о-глюкозид, астрагалин (кемпферол-3-О-глюкозид) және (+)- катехин. Сонымен қатар басқа ғалымдардың еңбектерінен тиамин (В1), рибофлавин (В2), ниацин (В3), пантотен қышқылы (В5), пиридоксин (В6), фолий қышқылы (В9), цианокобаламин (В12) және аскорбин қышқылы (С) сияқты басқа да витаминдерді тиімді анықтауға болатыны көрсетілген [9,10].

Р. Veris-те анықталған витаминдердің мөлшері 2-кестеде көрсетілген.

2 - кесте. Р. Veris-те анықталған суда еритін витаминдер (мг/100 г) [8]

Атаулары	Мөлшері
Аскорбин қышқылы	3,01
Фолий қышқылы	4,47
Пиридоксина гидрохлорид	5,29
Тиамина гидрохлорид	8,74

3-ші суретте Primula veris сығындысындағы суда еритін витаминдердің хроматограммасы келтірілген [8].



3 - сурет. Primula veris сығындысындағы суда еритін витаминдердің хроматограммасы

Рецепт құрамына кіретін шикізаттың оңтайлы қатынасын және эмульсиялық өнім дайындаудың технологиялық параметрлерін таңдау үшін күнбағыс майы мен зығыр майының қасиеттері мен эмульсиялық өнімнің сапасына әсерін зерттеуге бағытталған жұмыстарға талдау жасалды.

Осы мақсатта «Салатный» майонезді соусының негізгі шикізаттарына зығыр майын 25% мөлшерде ауыстыра отырып, сынама майонезді соус дайындау жүзеге асырылды.3-кестеде эмульсиялық өнімнің рецетурасы көрсетілген.

3 - кесте. Эмульсиялық өнімдердің рецептуралары

Шикізат атауы	**Бақылау үлгісі**	**Май қоспасынан жасалған өнім**
Күнбағыс майы, л	450	337,5
Зығыр майы, л	-	112,5

Қант, кг	20	15
Ас тұзы, кг	20	13
Лимон қышқылы, кг	-	6,5
Сірке қышқылы, л	8	-
Жұмыртқа ұнтағы, кг	50	48
Қыша ұнтағы, кг	10	7,5
Крахмал, кг	22	-
Су, л	420	445
Экстракт, кг	-	15
Жалпы:	1000	1000

Зертханалық жағдайда тәжірибе үлгісі мен бақылау үлгілері алынып, талданды. Өнімнің органолептикалық және физика-химиялық көрсеткіштері сыртқы түрі, консистенция, иіс пен дәм бойынша дәстүрлі тұздықпен салыстыра анықталды.4-кестеде өнімнің органолептикалық көрсеткіштері келтірілген.

4 - кесте. Эмульсиялық өнімдердің органолептикалық көрсеткіштері

Көрсеткіштер	**Тәжірибе үлгісі**	**Бақылау үлгісі**	**Орташа балл**	
			Тәжірибе	**Бақылау**
Сыртқы түрі, консистенциясы	Біртекті қаймақ тәрізді, біртекті	Біртекті қаймақ тәрізді, біртекті	4,9	4
Дәмі мен иісі	Нәзік дәм, ащы емес, қышқылдау	Жағымды, өткірлеу, қышаның дәмі бар	4,98	3,9
Түсі	Ашық сары	Ақ	5	4,5

Дайын өнімнің органолептикалық көрсеткіштері С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университетінің Тамақ және қайта өңдеу өндірісінің технологиясы кафедрасының меңгерушісіне, оқытушыларына дегустация жүргізіп, тәжірибе үлгісін оңтайлы деп анықталды. Кестелерде көрсетілген деректер өнім үлгілерінің барлық мәндер үшін ГОСТ Р 53590-2009 және ГОСТ 31761-2012 сәйкестігін көрсетеді.5-ші кестеде өнімнің физика-химиялық көрсеткіштері келтірілген.

5 - кесте. Эмульсиялық өнімдердің физика-химиялық көрсеткіштері

Көрсеткіштер атауы	Тәжірибе үлгісі	Бақылау үлгісі
Ылғалдылық, %	51,3	50,5
pH	3,6	3,9
Эмульсия тұрақтылығы, %	100,0	98,0

Әзірленген өнімнің тағамдық құндылығы маңызды май қышқылдары мен фосфолипидтердің, органикалық қышқылдар, таниндер, сапониндер, С және Е дәрумендері болуына негізделген.

Эмульсиялық өнімнің ақуыз, көмірсу және майдың массалық үлестері бойынша өнімнің энергетикалық құндылығы өздеріне тиеселі коэффициенттерге көбейтіле отырып есептелді және 6 - кестеге салынды.

6 - кесте. Эмульсиялық өнімнің тағамдық және энергетикалық құндылығы

Өнім	Массалық үлесі, %			Энергетикалық құндылық (100 г.)	
	май	ақуыз	көмірсу	Ккал	кДж
Зерттеу үлгісі	45,0	3,0	4,0	432	1808

Әзірленген өнімнің тағамдық құндылығы Е витаминінің көзі болып табылатын, омега қышқылдары бойынша теңдестірілген майлардың қоспасы болып табылатын май негізін рецептураға қосумен және денсаулықты сақтау үшін қажетті биологиялық белсенді заттардың қосылуымен байланысты.7 - кестеде эмульсиялық өнімдердің май қышқылдық құрамы көрсетілген.

7 - кесте. Эмульсиялық өнімдердің май қышқылдық құрамы

Май қышқылының атауы	Белгіленуі	Нәтижесі	
		Бақылау үлгісі	Тәжірибе үлгісі
Миристин	С14:0	0,03	0,02
Пальмитин	С16:0	3,30	2,40
Пальмитолеин	С16:1	0,06	0,07
Стеарин	С18:0	2,93	2,05
Олеин	С18:1	12,37	10,24
Линол	С18:2	35,10	27,20
Линолен	С18:3	0,05	9,80
Арахин	С20:0	0,25	0,11
Гондоин	С20:1	0,07	0,06
Беген	С22:0	0,25	0,32
Лигноцерин	С24:0	0,04	0,05

Кестедегі зерттеу нәтижесі бойынша зерттеу үлгісінде линолен кышқылы – 9,8; линол қышқылы – 27,2 көрсетті, яғни ω-3:ω-6 полиқанықпаған май қышқылдарының қатынасы 1:4-ке тең, бұл дұрыс тамақтану үшін ұсынылған нормаға сәйкес келуін дәлелдейді. Ал, бақылау үлгісінде линолен қышқылы -0,05; линол қышқылы - 35,10; сәйкесінше бұл нәтиже нормадан ауытқып кеткенін байқадық.

Қорытынды. Жаңа эмульсиялық өнімнің шикізаты ретінде ω-3:ω-6 полиқанықпаған май қышқылдарының адам ағзасына пайдалы қатынасы ескеріле отырып, қолданылатын күнбағыс майы мен зығыр майының оңтайлы қатынасы

75%:25% екені анықталды. Эмульсиялық өнімдерді өндіруде өсімдік тектес компоненттерді қолданудың орындылығы негізделді, еңгізілген Primula veris сығындысы майонез тұздығымен үйлесетіндігі, оның органолептикалық және реологиялық көрсеткіштерін жақсартатаны анықталды. Зерттеу нәтижелері кестелерде келтірілген, сонымен қатар алынған эмульсиялық өнім «Эмульсия тәрізді майлы тағамдық өнім» ҚР пайдалы модель патентімен расталды [11].

Әдебиеттер

1. Гаврилова Д. В. Разработка и товароведная оценка майонеза и майонезного соуса для здорового питания с пектином //дис.. канд. тех. наук: 05.18.15 - Москва, 2014. - 147 с.

2. Феофилактова О. В. Научное и практическое обоснование технологии фортификации биоактивными комплексами эмульсионных пищевых продуктов //дис. докт.тех.наук: 4.3.3 – Екатеринбург, 2024. - 310 с.

3. Журавко Е.В., Грузинов Е.В. Майонез «Диабетический» с экстрактом стевии // Масложировая промышленность. -№ 2.-2004. -С.41-42.

4. D Guzey and D. J. McClements. Formation, stability and properties of multilayer emulsions for application in the food industry // Advances in Colloid and Interface Science 128. -2006.- Vol.128-130. -P.227-248. DOI 10.1016/j.cis.2006.11.021.

5. Жакова К. И., Бабодей В.Н., Пчельникова А.В. Окислительные процессы в жировых эмульсионных продуктах прямого типа. Анализ качественных показателей сырья, используемого при производстве эмульсионных продуктов прямого типа //Пищевая промышленность: наука и технологии.- 2025.- Т.17(4). - С.35-43.

6. Tarapatskyy M., Gumienna A., Sowa P., Kapusta I., Puchalski C. Bioactive Phenolic Compounds from Primula veris L.// Influence of the Extraction Conditions and Purification. Molecules. - 2021. - 26(4). - 997. DOI 10.3390/molecules26040997.

7. Tatiana B. Schreiner, Madalena M. Dias, Maria Filomena Barreiro and Simão P. Pinho. Saponins as Natural Emulsifiers for Nanoemulsions // Journal of Agricultural and Food Chemistry. -2022. -Vol.70(22). -P.6573-6590. DOI 10.1021/acs.jafc.1c07893.

8. Иванова Д. Ф.. Фитохимическое изучение, разработка и стандартизация лекарственных средств на основе первоцвета весеннего (primula veris l.) // дис... кан. тех. Наук: 14.04.02-Уфа, 2017. -194 с.

9. Sori C.A., Fayissa G.R. Comparative investigation of the level of vitamin C in wild edible plants consumed at North Shoa Zone, Oromia region, Ethiopia//Discov Food.-2025.-Vol.5(300).- P.1-13/ DOI 10.1007/s44187-025-00614-0

10. Meos A., Saage P., Arak E. Content of ascorbic acid in common cowslip (Primula veris L.) compared to common foodplants and orange juices. Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica, -2017. -Vol.1(59). -P.113–120. DOI 10.1515/abcsb-2016-0020.

11. Эмульсия тәрізді майлы тағамдық өнім. Пайдалы модельге патент №7144, 27.05.2022

References

1. Gavrilova D. V. Razrabotka i tovarovednaja ocenka majoneza i majoneznogo sousa dlja zdorovogo pitanija s pektinom //dis.. kand. teh. nauk: 05.18.15 - Moskva, 2014. - 147 c. [in Russian]

2. Feofilaktova O. V. Nauchnoe i prakticheskoe obosnovanie tehnologii fortifikacii bioaktivnymi kompleksami jemul’ sionnyh pishhevyh produktov //dis. dokt.teh.nauk: 4.3.3 – Ekaterinburg, 2024. - 310 c. [in Russian]

3. Zhuravko E.V., Gruzinov E.V. Majonez «Diabeticheskij» s jekstraktom stevii // Maslozhirovaja promyshlennost’. -№ 2.-2004. -S. 41-42. [in Russian]

4. D Guzey and D. J. McClements. Formation, stability and properties of multilayer emulsions for application in the food industry // Advances in Colloid and Interface Science 128. -2006.- Vol.128-130. -P.227-248. DOI 10.1016/j.cis.2006.11.021.

5. Zhakova K. I., Babodej V.N., Pchel’ nikova A.V. Okislitel’ nye processy v zhirovyh jemul’ sionnyh produktah prjamogo tipa. Analiz kachestvennyh pokazatelej syr’ ja, ispol’ zuemogo pri proizvodstve jemul’ sionnyh produktov prjamogo tipa //Pishhevaja promyshlennost’: nauka i tehnologii.-2025.- T.17(4). - S. 35-43. [in Russian]

6. Tarapatskyy M., Gumienna A., Sowa P., Kapusta I., Puchalski C. Bioactive Phenolic Compounds from Primula veris L.// Influence of the Extraction Conditions and Purification. Molecules. - 2021. - 26(4). - 997. DOI 10.3390/molecules26040997.

7. Tatiana B. Schreiner, Madalena M. Dias, Maria Filomena Barreiro and Simão P. Pinho. Saponins as Natural Emulsifiers for Nanoemulsions // Journal of Agricultural and Food Chemistry. -2022. -Vol.70(22). -P.6573-6590. DOI 10.1021/acs.jafc.1c07893.

8. Ivanova D. F.. Fitohimicheskoe izuchenie, razrabotka i standartizacija lekarstvennyh sredstv na osnove pervocveta vesennego (primula veris l.) // dis... kan. teh. Nauk: 14.04.02-Ufa, 2017. -194 c. [in Russian]

9. Sori C.A., Fayissa G.R. Comparative investigation of the level of vitamin C in wild edible plants consumed at North Shoa Zone, Oromia region, Ethiopia//Discov Food.-2025.-Vol.5(300).- P.1-13/ DOI 10.1007/s44187-025-00614-0

10. Meos A., Saage P., Arak E. Content of ascorbic acid in common cowslip (Primula veris L.) compared to common foodplants and orange juices. Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica, -2017. -Vol.1(59). -P.113–120. DOI 10.1515/abcsb-2016-0020.

11. Эмульсия тәрізді майлы тағамдық өнім. Пайдалы модельге патент №7144, 27.05.2022.

Авторлар туралы мәліметтер

Смагулова М.Е. – химия ғылымдарының кандидаты, жетекші ғылыми қызметкер, К.Кулажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, қаласы, e-mail: mirgul.smagulova@bk.ru;

Жасқайрат Ш.Ж.- т.ғ.м., С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің 3-курс докторанты, Астана Қазақстан, e-mail: shynarai_92@mail.ru;

Машанова Н.С. - техника ғылымдарының докторы, аға оқытушы, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: nurmashanova@gmail.com;

Бекболатов М.Е. - т.ғ.м., С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің 3-курс докторанты, Астана, Қазақстан, e-mail: mariambekbolatova93@gmail.com.

Information about the authors

Smagulova M. E.- candidate of chemical sciences, Leading Researcher, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business , Astana, Kazakhstan, e-mail: mirgul.smagulova@bk.ru;

Zhaskairat Sh. Zh. - master of technical sciences, Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, 3rd-year PhD student, Astana, Kazakhstan, e-mail: shynarai_92@mail.ru;

Mashanova N.S. - doctor of technical sciences, senior lecturer, Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan , e-mail: nurmashanova@gmail.com;

Bekbolatova M.E. - master of technical sciences, Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, 3rd-year PhD student, Astana, Kazakhstan , e-mail: mariambekbolatova93@gmail.com.

МРНТИ 65.65.03 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1233**

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА, ОБОГАЩЕННОГО МИКРОНУТРИЕНТАМИ ЯГОД МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЭКСТРАКЦИИ

Ж.И. Сатаева, Н.Д. Кундызбаева, М.Е. Смагулова

ТОО НПП «NutriTech», Астана, Казахстан

Корреспондент автор: julduz.kaynar@mail.ru

В данной статье представлены результаты исследования по разработке подсолнечного масла холодного отжима, обогащённого природными антиоксидантами из дикорастущих ягод шиповника и клюквы с использованием ультразвуковой экстракции. Современные тенденции в области питания ориентированы на создание функциональных продуктов, способных не только удовлетворять базовые потребности организма, но и обеспечивать профилактическое воздействие за счёт содержания биологически активных веществ. Шиповник и клюква обладают высоким содержанием флавоноидов, витамина С, каротиноидов и других фитонутриентов, проявляющих выраженную антиоксидантную активность. В качестве экстрагирующего агента использовалось подсолнечное масло, что позволило избежать применения органических растворителей и обеспечить безопасность полученного продукта.

Результаты показали, что оптимизированными условиями были: мощность ультразвукового воздействия 18-20 кГц масла и температура 35°С. Полученные образцы масла были исследованы на соответствие физико-химическим показателям, окислительную стабильность и срок хранения. В результате установлено, что обогащённые образцы соответствуют требованиям ГОСТ 1129-2013 и ТР ТС 024/2011. Показатели кислотного числа (1,6–2,2 мг КОН/г) и перекисного числа (3,3-5,1 мэкв/кг) в течение 12 месяцев хранения не превышали нормативные значения. Масла демонстрировали улучшенные органолептические характеристики, повышенную устойчивость к окислению и более длительный срок годности.

Таким образом, использование ультразвуковой экстракции с применением дикорастущих ягод позволяет эффективно обогащать растительные масла, создавая функциональные продукты с высокой пищевой и биологической ценностью. Разработанный подход представляет собой перспективное направление для масложировой отрасли и индустрии здорового питания.

Ключевые слова: подсолнечное масло, дикорастущие ягоды, ультразвуковая экстракция, показатели пищевой безопасности, жирные кислоты.

УЛЬТРАДЫБЫСТЫҚ ЭКСТРАКЦИЯ ӘДІСІМЕН ЖИДЕКТЕРДІҢ МИКРОНУРИЕНТТЕРМЕН БАЙЫТЫЛҒАН КҮНБАҒЫС МАЙЫН ЗЕРТТЕУ

Ж.И. Сатаева, Н.Д. Кундызбаева, М.Е. Смағұлова

«NutriTech» Ғылыми-өндірістік кәсіпорны» ЖШС, Астана, Қазақстан,
e-mail: julduz.kaynar@mail.ru

Бұл мақалада ультрадыбыстық экстракцияны қолдану арқылы жабайы итмұрын мен мүкжидектен табиғи антиоксиданттармен байытылған суық сығымдалған күнбағыс майын әзірлеу бойынша зерттеу нәтижелері берілген. Ағымдағы тамақтану тенденциялары организмнің негізгі қажеттіліктерін қанағаттандырып қана қоймай, сонымен қатар олардың биобелсенді заттары арқылы профилактикалық артықшылықтарды қамтамасыз ететін функционалды өнімдерді жасауға бағытталған. Итмұрын мен мүкжидектің құрамында флавоноидтар, С дәрумені, каротиноидтар және басқа да фитонутриенттер бар, олар айқын антиоксиданттық белсенділікті көрсетеді. Органикалық еріткіштерді пайдалануды болдырмайтын және алынған өнімнің қауіпсіздігін қамтамасыз ететін экстракциялық агент ретінде күнбағыс майы пайдаланылды.

Нәтижелер оңтайландырылған шарттарды көрсетті: ультрадыбыстық қуат 18-20 кГц және майдың температурасы 35°C. Алынған май үлгілері физикалық-химиялық көрсеткіштерге, тотығу тұрақтылығына және жарамдылық мерзіміне сәйкестікке сыналған. Байытылған үлгілер МемСТ 1129-2013 және ТР КО 024/2011 талаптарына сәйкес келетіні анықталды. Қышқылдың мөлшері (1,6-2,2 мг КОН/г) және асқын тотығының мәні (3,3-5,1 мэкв/кг) 12 ай сақтау кезінде стандартты мәндерден аспады. Майлар жақсартылған органолептикалық сипаттарды, тотығу тұрақтылығын жоғарылатты және сақтау мерзімін ұзартты.

Осылайша, жабайы жидектермен ультрадыбыстық экстракцияны қолдану өсімдік майларын тиімді байытуға, тағамдық және биологиялық құндылығы жоғары функционалды өнімдерді жасауға мүмкіндік береді. Әзірленген тәсіл май өнеркәсібі мен салауатты тамақ өнеркәсібі үшін перспективалы бағытты білдіреді.

Түйін сөздер: күнбағыс майы, жабайы жидектер, ультрадыбыстық экстракция, тағамдық қауіпсіздік көрсеткіштері, май қышқылдары.

RESEARCH OF SUNFLOWER OIL ENRICHED WITH BERRY MICRONUTRIENTS BY ULTRASONIC EXTRACTION

Zh.I. Satayeva✉, N.D. Kundyzbayeva, M.E. Smagulova

«NutriTech» Research and Production Enterprise LLC, Astana, Kazakhstan,
e-mail: julduz.kaynar@mail.ru

This article presents the results of the research on the development of cold-pressed sunflower oil enriched with natural antioxidants from wild rose hips and cranberries using ultrasonic extraction. Current nutrition trends are focused on creating functional products that not only satisfy the body' s basic needs but also provide preventative benefits through their bioactive substances. Rosehips and cranberries are high in flavonoids, vitamin C, carotenoids, and other phytonutrients, which exhibit pronounced antioxidant activity. Sunflower oil was used as the extracting agent, eliminating the use of organic solvents and ensuring the safety of the resulting product.

The results showed that the optimized conditions were: an ultrasonic power of 18-20 kHz and a temperature of oil 35°C. The resulting oil samples were tested for compliance with physicochemical parameters, oxidative stability, and shelf life. As a result, it was established that the enriched samples comply with the requirements of GOST 1129-2013 and TR CU 024/2011. The acid number (1.6-2.2 mg KOH/g) and peroxide number (3.3-5.1 meq/kg) indicators did not exceed the standard values during 12 months of storage. The oils demonstrated improved organoleptic characteristics, increased oxidation stability, and a longer shelf life.

Thus, the use of ultrasonic extraction with wild berries allows for the effective enrichment of vegetable oils, creating functional products with high nutritional and biological value. The developed approach represents a promising direction for the oil and fat industry and the healthy food industry.

Keywords: sunflower oil, wild berries, ultrasonic extraction, food safety indicators, fatty acids.

Введение. В настоящее время имеются пищевые коммерческие растительные масла, обогащенные или ароматизированные биологически активными соединениями из трав, специй или других растительных материалов, для улучшения их пищевой ценности и органолептических качеств, а также продления срока годности. Потребление этих продуктов вызывает все больший интерес во многих странах благодаря их особым возможностям по профилактике заболеваний с помощью здорового питания, их универсальность, удобство и широкий спектр вкусов.

В развитых странах питание в большей степени сосредоточено на дополнительных аспектах, чем просто на удовлетворении основных по-

требностей компонентов. Из-за этого так называемые красные фрукты или ягоды в последнее время привлекают большое внимание благодаря своим антиоксидантным свойствам, которые связаны с высокой концентрацией присутствующих в них полифенолов. Кроме того, их потребление во всем мире, как известно, увеличилось, и красные фрукты в настоящее время потребляются не только в свежем виде, но также используются в косметике и пищевых добавках.

Чтобы извлечь выгоду из этих молекул в функциональных продуктах, необходимо провести экстракцию, чтобы получить концентрат, богатый антиоксидантами, из различных съедобных ягод. Обычная цель состоит в том, чтобы получить максимальный выход при извлечении представляющих интерес соединений, которые обладают большей антиоксидантной активностью и, следовательно, способны быть более полезными для здоровья человека, а также заменять синтетические консерванты.

Антиоксиданты - это химические соединения группы вторичных метаболитов, которые предотвращают окисление плода из-за факторов окружающей среды, таких как свет, воздух, кислород и микробиологические воздействия. Фенольные антиоксиданты вмешиваются в процесс окисления как терминаторы свободных радикалов, а иногда и как хелаторы металлов.

Полифенолы обладают различными биологическими свойствами, такими как антипролиферативные, антидиабетические, противораковые, антимикробные, противовоспалительные, противовирусные, и особенно антиоксидантные.

Масла холодного прессования обладают высокими питательными свойствами и ценятся как полезные продукты для здоровья.100 г масла из семян подсолнечника, льна составляет 884 ккал. Это составляет 62,8 % от суточной потребности в энергетических затратах взрослого человека. В столовой ложке содержится 17 г масла и 150,3 ккал, в десертной 13,6 г и 120,2 ккал, в чайной 4,5 г и 39,8 Ккал.

Пищевая ценность растительных масел определяется количественным содержанием незаменимой линолевой и линоленовой кислоты. Они не могут синтезироваться в организме человека из промежуточных продуктов обмена и должны поступать с пищей. По этой причине их называют незаменимыми, так как они регулируют обмен веществ, отвечают за синтез гормонов, поддержание иммунитета. Именно поэтому нерафинированные растительные масла холодного отжима непременно должно входить в рацион питания человека любого возраста, даже младенца.

Шиповник (Rosa spp.)-широко распространённое дикорастущее и культивируемое растение, ценное как источник полифенолов (танины, флавоноиды, кемпеферол, рутин, кверцетин), каротиноидов (ликопин, бета-каротин), тритерпеновых кислотам, незаменимых жирных кислот, галактолипидов, фолатов, витамина С (90,8%), А (91%), β-каротин (98%), В2 (16,7%), B_5 (16%), К (21,6%) и Е (25,3%), минералов (Ca, Mg, K, S, Si, Se, Mn и Fe) и т. д. [1].

В созревших плодах шиповника, произрастающего в Португалии, общее содержание токоферолов достигало около 80 мг на 100 г сухого вещества, тогда как в семенах оно составляло лишь 1,70 мг/100 г СВ [2]. Для шиповника различных видов, выращенного в Швеции, содержание токоферолов варьировало в пределах 116,7-248,1 мкг/г СВ [3].

Последние достижения и исследование биологически активных свойств шиповника приводятся в работе [4], где раскрыт функциональный и нутрицевтический потенциал плодов шиповника.

Плоды обладают выраженными фитонцидными, бактерицидными и антиоксидантными свойствами. С XVI века используются как поливитаминное и антицинготное средство.

Клюква (Oxycoccus spp. / Vaccinium spp.) - ценное дикорастущее и культивируемое растение, используемое как витаминное, пищевое и лекарственное средство. Отличается высоким содержанием органических кислот и витаминов. Клюква сушеная содержит: витамин С - до 17% суточной нормы; витамин К-4,3%; марганец - до 18%; органические кислоты (лимонная, бензой-

ная); флавоноиды, антоцианы, пектины [5].

Клюква обладает противовоспалительными, антибактериальными, антисептическими и антиоксидантными свойствами.

Несмотря на широкий ассортимент красных фруктов в производстве и использовании в качестве пищевых добавок, ягоды привлекают внимание и стали невероятно популярными из-за их повышенного содержания полезных микронутриентов - антоцианов, которые защищают клетки от разрушения дыма и радиации.

В исследованиях [6] была проведена оценка стабилизирующего эффекта липофильных экстрактов облепихи и шиповника на окислительную стабильность подсолнечного масла.

Исследование включало идентификацию продуктов окисления с использованием ЖХ-МС/МС (в положительном и отрицательном режимах), где ключевыми соединениями были определены пентаналь, гексаналь, гептаналь, октаналь и нонаналь. Изучено влияние параметров экстракции каротиноидов, установленных из ягод, на окислительную стабильность подсолнечного масла. Установлено, что липофильные экстракты сохраняли стабильность при 4 °C в течение 12 месяцев в темноте.

Ультразвуковая экстракции является нетепловой техникой, в которой используются частоты, равные или превышающие 20 кГц. Этот метод привлек особое внимание из-за дешевизны оборудования, простоты и более высокой эффективности по сравнению с экстракцией растворителем из-за снижения затрат на тепло и растворители. Это позиционирует его как более экологичный метод добычи. Механизм заключается в следующем: ультразвук вызывает кавитацию, которая вызывает разрушение клеточной стенки. Это позволяет проникать внутриклеточным соединениям и, следовательно, выделять антиоксиданты и другие молекулы.

Переосмысление роли побочных продуктов переработки фруктов и овощей способствовало росту интереса к экологически чистым технологиям, таким как ультразвуковая экстракция. Этот метод эффективно извлекает биологически активные соединения без разрушения их структуры, поддерживая устойчивое производство и рациональное использование ресурсов [7].

Поскольку антоцианы представляют собой вакуолярные пигменты, которые накапливаются в центральной вакуоли растительной клетки, кавитация и разрушение клеток, вызванные ультразвуковыми волнами, могут усиливать массоперенос от твердого матрикса к растворителю, улучшая экстракцию антоцианинов.

Результаты показали, что оптимизированными условиями были: мощность ультразвукового воздействия 0,67 Вт/г масла и температура 35°C. Параметры оптимизации этого «зеленого» процесса обеспечивают значительно улучшенное обогащение пищевого масла с точки зрения количества и продолжительности процесса от 33,83 мг/л экстракта за 90 минут, полученного обычной экстракцией, до 51,64 мг/л экстракта всего за 20 минут. Выделение каротиноидов с помощью ультразвука из побочных продуктов представляется простой, быстрой и устойчивой альтернативой традиционным процедурам [8].

В плодах лоха зонтичного (Elaeagnus umbellata), собранных в Западной Грузии, содержание ликопина варьировало от 35,25 до 60,21 мг/100 г. Для его извлечения оптимизирована ультразвуковая экстракция с использованием подсолнечного масла как зелёного растворителя (1:50, 30 °C, 40 % амплитуда, 85 Вт, 10 мин). ИК-Фурье спектроскопия подтвердила наличие ликопина, а анализ качества масла (кислотное, перекисное числа и р-анизидин) и DPPH-тест показали улучшение антиоксидантных свойств масла с добавлением ликопина [9].

В исследовании [10] разработаны наноэмульсии на основе масел подсолнечника и шиповника с использованием фосфолипидов и эмульгаторов. Обе системы имели высокую концентрацию наночастиц (10^{13} частиц/мл) и низкий воспалительный потенциал. Изменения в составе стабилизаторов повлияли на проникновение масел, цитотоксичность и скорость заживления, демонстрируя потенциал таких систем в трансдермальной доставке.

Методы ультразвуковой (УЗЭ) и микроволновой экстракции (МЭ) продемонстрировали высокую эффективность при извлечении масел из соевых зародышей и микроводорослей, богатых ДГК. Наилучшие результаты достигнуты с использованием прототипа «кавитирующей трубки» (19 кГц, 80 Вт), обеспечившего максимальный выход и сокращение времени экстракции до 10 раз по сравнению с традиционными методами; УЗЭ особенно эффективно разрушала клеточные стенки водорослей, увеличив выход масла с 4,8% до 25,9% [11].

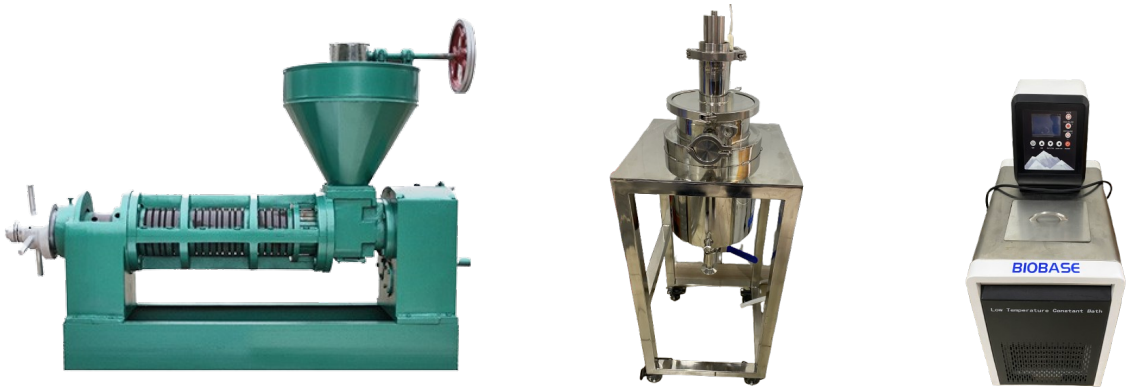
Целью исследования является получение и исследование обогащенного ягодами растительного масла методом ультразвуковой экстракции.

Объектами исследований являются подсолнечное масло холодного отжима, ягоды шиповника и клюквы.

Повышение ценности некачественных пищевых продуктов важно для пищевой промышленности. Это делается путем добавления ингредиентов, таких как каротиноиды, которые извлекаются инновационным применением прямой экстракции путем мацерации ягод в пищевом масле без растворителя и исключения операций по испарению и экстракции. С помощью ультразвука полное извлечение теперь может быть завершено за считанные минуты с высокой воспроизводимостью, снижая расход растворителя, упрощая манипуляции и обработку, обеспечивая более высокую чистоту конечного продукта.

Материалы и методы. Для исследований в качестве базового растительного масла выбрали нерафинированное подсолнечное холодного отжима, полученное из семян подсолнечника свежего урожая на шнековом маслопрессе марки 6YL-150, а также сушеные ягоды шиповника и клюквы. Данные продукты были произведены в ТОО «НПП «Nutritech.

Определение жирнокислотного состава исходного подсолнечного масла проводилось в РГП «центр санитарно-эпидемиологической экспертизы» Медицинского центра Управления делами Президента РК» по ГОСТ 31663-2012 «Масла растительные и жиры животные. Определение проводилось методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров жирных кислот».



а) **б)**

Рис.1 - Оборудование

а – шнековый маслопресс 6YL-150; б - ультразвуковой экстрактор-гомогенизатор

Содержание токсичных элементов (свинец, мышьяк, кадмий, ртуть, медь, железо), микотоксины (афлатоксин B_1), пестициды (ГХЦГ (α, β, γ-изомеры), ДДТ и его метаболиты), радионуклиды (цезий-137, стронций-90) определяли по соответствующему нормативному документу в Карагандинском филиале АО «Национальный центр экспертизы и сертификации».

Были проведены анализы физико-химических показателей: цветное число-по ГОСТ 5477-2015

на колориметре, массовая доля влаги и летучих веществ-методом высушивания по ГОСТ 11812-66, кислотное и перекисное число – методом титрования по ГОСТ 31933-2012 и ISO 3960-2013 соответственно, Массовая доля нежировых примесей и отстоя - по ГОСТ 5481-2014, показатель преломления-рефрактометрическим методом по ГОСТ ISO 6320-2012, исходя из показателя преломления высчитали йодное число.

Для экстракции и гомогенизации обогащенного масла использовали ультразвуковой экстрактор-гомогенизатор фирмы «BIOBASE» объемом емкости 5 л.

Для исследований мы выбрали нерафинированное подсолнечное масло, полученное методом холодного отжима и сушеные плоды шиповника и клюквы для обогащения масла микронутриентами и продления срока хранения. Ягоды добавляли в подсолнечное масло по 5, 10 и 15% в реакторе ультразвуковой экстракции и гомогенизации.

Были получены растительные масла, обогащенные ценными биологически активными веществами:

- нерафинированное подсолнечное масло с шиповником;

- нерафинированное подсолнечное масло с клюквой.

Результаты и обсуждение. Главным показателем растительных масел является их жирнокислотный состав. Результаты определения насыщенных, мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот подсолнечного масла приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Жирнокислотный состав подсолнечного масла холодного отжима, %

Наименование жирных кислот	**Норма по НД**	**Фактическое значение**
Насыщенные жирные кислоты (НЖК)		
С 14:0 Миристиновая	до 0,2	-
С15:0 Пентадециловая кислота	-	0,207
С 16:0 Пальмитиновая	5,6-7,6	5,608
С 17:0 Маргариновая	-	-
С 18:0 Стеариновая	2,7-6,5	4,49
С 20:0 Арахиновая	до 0,5	0,227
С 22:0 Бегеновая	0,3-1,5	0,25
С 24:0 Лигноцериновая	до 0,5	0,32
Мононенасыщенные жирные кислоты (МНЖК)		
С16:1 Пальмитолеиновая	до 0,3	0,05
С 17:1 (cis-10) Гептадеценовая	-	-
С 18:1 (trans-9) Элаидиновая	14,0-39,4	17,60
С 18:1 (cis-9) Олеиновая		3,95
С 20:1 Гадолеиновая	-	0,22
Полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК)		

С 18:2n61 Линолеидиновая	48,3-77,0	65,61
С 18:2n6c Линолевая		0,08
С 18:3n3 α-Линоленовая	0,1	0,03
С 18:3n6 γ-Линоленовая		-

Из данных, приведенных в таблице 1 видно, что в пробе подсолнечного масла содержится в сумме насыщенных жирных кислот 11,1%, мононенасыщенных жирных кислот 21,8%, в том числе олеиновой кислоты 3,95%, полиненасыщенных жирных кислот 65,72%, где содержание линолевой кислоты составляет 65,69%. Эти показатели подтверждают то, что подсолнечное масло является источником олеиновой кислоты (ω-9) и линолевой кислоты (ω-6), которые способствуют снижению уровня холестерина и уменьшению риска сердечных заболеваний.

В работе [12] приведены результаты определения жирнокислотного состава подсолнечного масла с высоким содержанием олеиновой кислоты (52,21%). В южных регионах во время созревания подсолнечника происходит наибольшее накопление линолевой кислоты, в северных регионах – олеиновой кислоты.

Подсолнечное масло содержит высокую концентрацию токоферолов (648,9 ppm), которые являются важнейшими антиоксидантами.

Полиненасыщенные жирные кислоты, особенно в составе фосфолипидов, подвержены быстрому окислению из-за слабых CH-связей в аллильных и бисаллильных позициях. Хотя рафинация снижает содержание фосфолипидов и повышает окислительную стабильность масел, это сопровождается потерей их биологической ценности, включая фитостерины и другие полезные компоненты [13,14].

Одной из эффективных стратегий замедления окисления липидов в пищевых продуктах является применение природных антиоксидантов. Наибольший интерес представляют липофильные экстракты из ягодных растительных порошков, содержащие широкий спектр биологически активных соединений [15-17].

После ультразвуковой обработки масла обладали приятным вкусом, запахом и цветом. Органолептические показатели представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Органолептические характеристики обогащенных растительных масел

Показатели	**Подсолнечное масло**	
	с шиповником	**с клюквой**
Цвет	Желтый с зеленоватым оттенком	
Вкус и запах	Свойственный подсолнечному маслу с запахом и привкусом шиповника	Свойственный подсолнечному маслу с запахом и привкусом клюквы
Прозрачность	Прозрачный без осадка	Прозрачный без осадка

Добавление шиповника и клюквы в подсолнечное масло придает темный оттенок, что подтверждает переход фитонутриентов в масло.

Обогатив подсолнечное масло методом ультразвуковой экстракции, мы получили ароматные, вкусные, суперполезные для здоровья человека продукты. Всего лишь одна ложка обогащенного растительного масла, добавленная в кашу, смузи, молочные продукты, салаты, гарниры, соки, бальзамы, соусы, к мясу, рыбе и даже выпечке, придаст блюду свежий аромат, сделает его вкус насыщеннее и пикантнее.

Важными характеристиками являются показатели пищевой безопасности полученных продуктов (Таблица 3).

Таблица 3 - Показатели безопасности нерафинированного подсолнечного масла холодного отжима, обогащенного клюквой и шиповником

Наименование показателей, единицы измерений	НД на методы испытаний	Норма по НД	Подсолнечное масло с клюквой	Подсолнечное масло с шиповником
Токсичные элементы, мг/кг, не более				
Свинец	ГОСТ 33824-2016	0,1	менее 0,02	менее 0,02
Мышьяк	ГОСТ 26930-86	0,1	менее 0,025	менее 0,025
Кадмий	ГОСТ 33824-2016	0,05	менее 0,003	менее 0,003
Ртуть	ГОСТ 26927-86	0,03	менее 0,005	менее 0,005
Медь	ГОСТ 33824-2016	0,4	менее 0,03	менее 0,03
Железо	ГОСТ 26928-86	5,0	менее 0,05	менее 0,05
Микотоксины, мге/кг, не более				
Афлатоксин В1	ГОСТ 30711-2001	0,005	менее 0,003	менее 0,003
Пестициды, мг/кг, не более				
ГХЦГ (α, β, γ-изомеры)	СТ РК 2011-2010	0,2	менее 0,005	менее 0,005
ДДТ и его метаболиты	СТ РК 2011-2010	0,2	менее 0,005	менее 0,005
Радионуклиды, Бк/кг, не более				
Цезий-137	ГОСТ 32161-2013	40	1,236	1,287
Стронций-90	ГОСТ 32161-2013	80	1,152	1,206

Из таблицы 3 следует, что содержание токсичных элементов, микотоксинов, пестицидов, радионуклидов отвечают требованиям ТР ТС на масложировую продукцию 024/2011.

Таблица 4 - Физико-химические показатели нерафинированного подсолнечного масла холодного отжима, обогащенного клюквой и шиповником

Наименование показателей, единицы измерений	НД на методы испытаний	Норма по НД	Подсолнечное масло с клюквой	Подсолнечное масло с шиповником
Цветное число, мг йода, не более	ГОСТ 5477-2015	25	38	42
Массовая доля влаги и летучих веществ, %, не более	ГОСТ 11812-66	0,20	0,15	0,12
Кислотное число, мг КОН/г, не более	ГОСТ 31933-2012	4,0	1,6	1,9

Массовая доля нежировых примесей и отстоя, %, не более	ГОСТ 5481-2014	0,10	0,03	0,04
Перекисное число, мэкв активного кислорода/кг, не более	ГОСТ ISO 3960-2013	10,0	3,3	3,4
Показатель преломления	ГОСТ ISO 6320-2012	1,4740-1,4780	1,4746	1,4746
Йодное число, г J2/100	ГОСТ ISO 3961-2020	119-145	131	130

Как видно из данных таблицы 4, физико-химические показатели исследуемых растительных масел соответствуют нерафинированному подсолнечному маслу первого сорта и соответствует требованиям ГОСТ 1129-2013.

Обогащенные микронутриентами ягод растительные масла доказали свою эффективность в сохранении высокой концентрации каротиноидов в оптимальных условиях без каких-либо потерь или деградации каротиноидов или изменений в профилях жирных кислот масла.

Разработанная ягодная комбинация подсолнечного масла может быть использована при создании биологически активных добавок на основе растительных масел.

Окисление липидов в пищевых продуктах-это сложный процесс, зависящий от множества факторов, включая химический состав, условия хранения и наличие антиоксидантов. Оно не только ухудшает органолептические свойства и пищевую ценность продуктов, но также представляет серьёзную токсикологическую опасность, способствуя развитию хронических заболеваний [18]. Ягоды оказывают стабилизирующее действие на подсолнечное масло. Токоферолы и токотриенолы-мощные липофильные антиоксиданты, способные усиливать действие каротиноидов в защите ненасыщенных жирных кислот от окисления [19]. Хотя ягоды шиповника и клюквы содержат токоферолы, их вклад в липофильные экстракты незначителен по сравнению с подсолнечным маслом, богатым α-токоферолом, поэтому улучшенная стабильность экстрактов обусловлена каротиноидами.

Таблица 5 - Изменение физико-химических показателей подсолнечного масла в процессе хранения

Показатель	**Период хранения**			
	1-3 месяца	**4-6 месяцев**	**7-9 месяцев**	**10-12 месяцев**
Кислотное число, мг КОН/г	1,6	1,7	1,9	2,2
Перекисное число, мэкв активного кислорода/кг	3,3	3,8	4,6	5,1

Полярные антиоксиданты ягод, такие как фенолы и аскорбиновая кислота, в масло не переходят. Каротиноиды проявляют высокую антиоксидантную активность благодаря делокализованной электронной системе, позволяющей стабилизировать реактивные радикалы и карбокатионы. Их способность нейтрализовать синглетный кислород и свободные радикалы зависит

главным образом от числа сопряжённых двойных связей и, в меньшей степени, от структуры концевых групп и заместителей [20]. Динамика окисления подсолнечного масла зависит от состава жирных кислот, а также активности антиоксидантов и прооксидантов. Авто окисление начинается с фосфолипидов, содержащих ненасыщенные жирные кислоты, и продолжается до тех пор, пока антиоксидант не прерывает цепную реакцию, но его защитное действие ограничено, так как он постепенно расходуется.

Изменение физико-химических показателей обогащенного ягодами подсолнечного масла в процессе хранения 12 месяцев представлены в таблице 5.

Кислотное число указывает на степень окислительной и гидролитической деградации масла под действием тепла. В процессе хранения обогащенного подсолнечного масла значение кислотного числа увеличивалось в пределах 1,6-2,2 мг КОН/г, что свидетельствует о накоплении свободных жирных кислот без превышения установленных нормативами пределов (макс.4,0 мг КОН/г масла).

Перекисное число определяет степень стабильности масла. В процессе хранения перекисное число обогащенного подсолнечного масла увеличивалась в диапазоне от 3,3 до 5,1 без превышения установленных нормативами пределов (макс.10,0 мэкв активного кислорода/кг). Срок хранения для нерафинированного подсолнечного масла по ГОСТу 1129-2013 составляет 4-6 месяцев. Анализ изменений физико-химических свойств обогащенного микронутриентами ягод подсолнечного масла при хранении в течение 12 месяцев при температуре 4 °С и отсутствии света показал, что в этих условиях каротиноиды шиповника и клюквы положительно влияли на окислительную стабильность полученного масла.

Скорость окисления растительных масел существенно зависит от температуры и наличия кислорода: при низкой температуре и ограниченном доступе кислорода окисление замедляется, что повышает стабильность масла.

Срок хранения нерафинированных обогащенных растительных масел-300 дней. Хранить в защищенном, сухом месте, вдали от попадания прямых солнечных лучей. После вскрытия упаковки хранить плотно закрытым в холодильнике при Т=+4+6°С и использовать не более 12 месяцев.

Выводы. В ходе проведённого исследования были получены образцы подсолнечных масел, обогащённых биологически активными веществами ягод шиповника и клюквы с использованием метода ультразвуковой экстракции. Установлено, что применение ультразвукового воздействия способствует более эффективному высвобождению ценных компонентов из растительного сырья в масляную фазу, что подтверждается улучшенными органолептическими и функционально-технологическими характеристиками, а также показателями безопасности по сравнению с исходным подсолнечным маслом. Полученные результаты подтверждают перспективность использования ультразвуковой экстракции для создания новых функциональных масложировых продуктов с повышенной биологической ценностью.

***Финансирование**. Данные продукты получены в ТОО «НПП «Nutritech» в рамках реализации грантового финансирования коммерциализации РННТД, финансируемого за счет денежных средств ГУ «Комитет науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан»*

Литература

1. Калорийность. Шиповник. Химический состав и пищевая ценность. URL: https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/443.php. -Дата обращения: 02.09.2025.

2. Barros L., Carvalho A.M., Ferreira I. Exotic fruits as a source of important phytochemicals: Improving the traditional use of Rosa canina fruits in Portugal // Food Res. Int.-2011.-Vol.44(7).-P.2233-2236. DOI

10.1016/j.foodres.2010.10.005.

3. Kallio H., Yang B., Peippo P. Effects of different origins and harvesting time on vitamin C, tocopherols, and tocotrienols in sea buckthorn (Hippophae rhamnoides) berries// J. Agric. Food Chem. -2002.- Vol.50(21).- P.6136-6142. DOI 10.1021/jf020421v.

4. Negrean O. R. et al. Recent advances and insights into the bioactive properties and applications of Rosa canina L. and its by-products // Heliyon.- 2024.- Vol.10.(9):e30816 DOI 10.1016/j.heliyon.2024.e30816.

5. Калорийность. Клюква сушеная. Химический состав и пищевая ценность. URL:https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/442.php.- Дата обращения: 02.09.2025.

6. Ghendov-Mosanu A. et al. Stabilization of sunflower oil with biologically active compounds from berries //Molecules.- 2023.-Vol. 28(8). - P.3596. DOI 10.3390/molecules28083596.

7. Kumar K., Srivastav S., Sharanagat V. S. Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review//Ultrasonics sonochemistry.-2021.- Vol.70: 105325. DOI 10.1016/j.ultsonch.2020.105325.

8. Chemat F. et al. Enrichment of edible oil with sea buckthorn by-products using ultrasound-assisted extraction //European Journal of Lipid Science and Technology.- 2012.-Vol.114(4).-P.453- 460. DOI 10.1002/ejlt.201100349.

9. Surmanidze N. et al. Optimization of the method of ultrasonic extraction of lycopene with a green extract from the fruit of Elaeagnus umbellata, common in Western Georgia //Food Science & Nutrition.-2024.-Vol.12.(5). -P.3593-3601. DOI 10.1002/fsn3.4030.

10. Pereira Oliveira C. N. et al. Nanoemulsions based on sunflower and rosehip oils: the impact of natural and synthetic stabilizers on skin penetration and an ex vivo wound healing model //Pharmaceutics.- 2023. -Vol.15 (3):999. DOI 10.3390/pharmaceutics15030999

11. Cravotto G. et al. Improved extraction of vegetable oils under high-intensity ultrasound and/or microwaves//Ultrasonics sonochemistry.- 2008. -Vol.15(5).- P.898-902. DOI 10.1016/j.ultsonch.2007.10.009.

12. Satayeva Z. I. Organic product with balanced composition of ω-6 and ω-3 fatty acids// //Science Bulletin of the S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University. -2020.-Vol.3(106).-P.253-260. DOI 10.47100/herald.v.1i3.94.

13. Lamas D.L., Crapiste G.H., Constenla D.T. Changes in quality and composition of sunflower oil during enzymatic degumming process//-LWT-Food Sci. Technol.2014.-Vol.58(1).-P.71-76. DOI 10.1016/j.lwt.2014.02.024.

14. Reis A., Spickett C.M. Chemistry of phospholipid oxidation.//Biochim. Biophys. Acta Biomembr.-2012.-Vol.1818(10).-P.2374-2387. DOI 10.1016/j.bbamem.2012.02.002.

15. Popovici V., Radu O., Hubenia V., Kovaliov E., Capcanari T., Popovici C. Physico-Chemical and Sensory Properties of Functional Confectionery Products with Rosa canina Powder. Ukr. Food J.-2019.-Vol.8.- P.815-827. DOI 10.24263/2304-974X-2019-8-4-12.

16. Ghendov-Moşanu A., Sturza R., Opriş O., Lung I., Popescu L., Popovici V., Soran M.-L., Patraş A. Effect of Lipophilic Sea Buckthorn Extract on Cream Cheese Properties. J. Food Sci. Technol.-2020.-Vol.57.- P.628-637. DOI 10.1007/s13197-019-04094-w.

17. Cristea E., Ghendov-Mosanu A., Patras A., Socaciu C., Pintea A., Tudor C., Sturza R. The Influence of Temperature, Storage Conditions, PH, and Ionic Strength on the Antioxidant Activity and Color Parameters of Rowan Berry Extracts//Molecules.-2021.-Vol.26(13):3786. DOI 10.3390/molecules26133786.

18. Anguelova T., Warthesen J. Degradation of Lycopene, β-Carotene, and α-Carotene during Lipid//Peroxidation.J.FoodSci.-2000.-Vol.65.- P.71-75. DOI 10.1111/j.1365-2621.2000.tb15958.x.

19. Barouh N., Bourlieu-Lacanal C., Figueroa-Espinoza M.C., Durand E., Villeneuve P. Tocopherols as antioxidants in lipid-based systems: The combination of chemical and physicochemical interactions determines their efficiency.-2022.- Vol.21(1).- P.1-47. DOI 10.1111/1541-4337.12867.

20. Sturza R., Druţă R., Covaci E., Duca G., Subotin I. Mechanisms of sunflower oil transforming into forced thermal oxidation processes.//Eng.Sci.-2020.-Vol.47.- P.239 - 251. DOI 10.5281/zenodo.3949716.

References

1. Kalorijnost’. Shipovnik. Himicheskij sostav i pishhevaja cennost’. URL: https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/443.php. - Data obrashhenija: 02.09.2025. [in Russian]

2. Barros L., Carvalho A.M., Ferreira I. Exotic fruits as a source of important phytochemicals: Improving the traditional use of Rosa canina fruits in Portugal // Food Res. Int.-2011.-Vol.44(7).-P.2233-2236. DOI 10.1016/j.foodres.2010.10.005.

3. Kallio H., Yang B., Peippo P. Effects of different origins and harvesting time on vitamin C, tocopherols, and tocotrienols in sea buckthorn (Hippophae rhamnoides) berries// J. Agric. Food Chem. -2002.-Vol.50(21).- P.6136-6142. DOI 10.1021/jf020421v.

4. Negrean O. R. et al. Recent advances and insights into the bioactive properties and applications of Rosa canina L. and its by-products // Heliyon.- 2024.- Vol.10.(9):e30816 DOI 10.1016/j.heliyon.2024.e30816.

5. Kalorijnost’. Kljukva sushenaja. Himicheskij sostav i pishhevaja cennost’. URL:https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/442.php.- Data obrashhenija: 02.09.2025. [in Russian]

6. Ghendov-Mosanu A. et al. Stabilization of sunflower oil with biologically active compounds from berries //Molecules.- 2023.-Vol. 28(8). - P.3596. DOI 10.3390/molecules28083596.

7. Kumar K., Srivastav S., Sharanagat V. S. Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review//Ultrasonics sonochemistry.-2021.- Vol.70: 105325. DOI 10.1016/j.ultsonch.2020.105325.

8. Chemat F. et al. Enrichment of edible oil with sea buckthorn by-products using ultrasound-assisted extraction //European Journal of Lipid Science and Technology.- 2012.-Vol.114(4).-P.453- 460. DOI 10.1002/ejlt.201100349.

9. Surmanidze N. et al. Optimization of the method of ultrasonic extraction of lycopene with a green extract from the fruit of Elaeagnus umbellata, common in Western Georgia //Food Science & Nutrition.-2024.-Vol.12.(5). -P.3593-3601. DOI 10.1002/fsn3.4030.

10. Pereira Oliveira C. N. et al. Nanoemulsions based on sunflower and rosehip oils: the impact of natural and synthetic stabilizers on skin penetration and an ex vivo wound healing model //Pharmaceutics.- 2023. -Vol.15 (3):999. DOI 10.3390/pharmaceutics15030999

11. Cravotto G. et al. Improved extraction of vegetable oils under high-intensity ultrasound and/or microwaves//Ultrasonics sonochemistry.- 2008. -Vol.15(5).- P.898-902. DOI 10.1016/j.ultsonch.2007.10.009.

12. Satayeva Z. I. Organic product with balanced composition of ω-6 and ω-3 fatty acids// //Science Bulletin of the S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University. -2020.-Vol.3(106).-P.253-260. DOI 10.47100/herald.v.1i3.94.

13. Lamas D.L., Crapiste G.H., Constenla D.T. Changes in quality and composition of sunflower

oil during enzymatic degumming process//-LWT-Food Sci. Technol.2014.-Vol.58(1).-P.71-76. DOI 10.1016/j.lwt.2014.02.024.

14. Reis A., Spickett C.M. Chemistry of phospholipid oxidation.//Biochim. Biophys. Acta Biomembr.-2012.-Vol.1818(10).-P.2374-2387. DOI 10.1016/j.bbamem.2012.02.002.

15. Popovici V., Radu O., Hubenia V., Kovaliov E., Capcanari T., Popovici C. Physico-Chemical and Sensory Properties of Functional Confectionery Products with Rosa canina Powder. Ukr. Food J.-2019.-Vol.8.- P.815-827. DOI 10.24263/2304-974X-2019-8-4-12.

16. Ghendov-Moşanu A., Sturza R., Opriş O., Lung I., Popescu L., Popovici V., Soran M.-L., Patraş A. Effect of Lipophilic Sea Buckthorn Extract on Cream Cheese Properties. J. Food Sci. Technol.-2020.-Vol.57.- P.628-637. DOI 10.1007/s13197-019-04094-w.

17. Cristea E., Ghendov-Mosanu A., Patras A., Socaciu C., Pintea A., Tudor C., Sturza R. The Influence of Temperature, Storage Conditions, PH, and Ionic Strength on the Antioxidant Activity and Color Parameters of Rowan Berry Extracts//Molecules.-2021.- Vol.26(13):3786. DOI 10.3390/molecules26133786.

18. Anguelova T., Warthesen J. Degradation of Lycopene, β-Carotene, and α-Carotene during Lipid//Peroxidation.J.FoodSci.-2000.-Vol.65.- P.71-75.DOI 10.1111/j.1365-2621.2000.tb15958.x.

19. Barouh N., Bourlieu-Lacanal C., Figueroa-Espinoza M.C., Durand E., Villeneuve P. Tocopherols as antioxidants in lipid-based systems: The combination of chemical and physicochemical interactions determines their efficiency.-2022.-Vol.21(1).- P.1-47. DOI 10.1111/1541-4337.12867.

20. Sturza R., Druţă R., Covaci E., Duca G., Subotin I. Mechanisms of sunflower oil transforming into forced thermal oxidation processes.//Eng.Sci.-2020.-Vol.47.- P.239 - 251. DOI 10.5281/zenodo.3949716.

Сведения об авторах

Сатаева Ж.И.- PhD, директор ТОО «НПП «Nutritech», Астана, Казахстан, e-mail: julduz.kaynar@mail.ru;

Кундызбаева Н.Д.- к.т.н., научный консультант ТОО «НПП «Nutritech», Астана, Казахстан, e-mail: kundyzbaeva@mail.ru;

Смагулова М.Е.- к.х.н., химик ТОО «НПП «Nutritech», Астана, Казахстан, e-mail: mirgul.smagulova@bk.ru.

Information about the authors

Satayeva Zh.I.- PhD, Director of NPP Nutritech LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: julduz.kaynar@mail.ru;

Kundyzbayeva N.D.- Ph.D., scientific consultant of NPP Nutritech LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: kundyzbaeva@mail.ru;

Smagulova M.E.- Ph.D., chemist of NPP Nutritech LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: mirgul.smagulova@bk.ru.

МРНТИ 65.09.01 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1200**

APPLICATION OF MOLECULAR HYDROGEN IN FOOD PRODUCTION AND PRESERVATION: CURRENT TRENDS AND FUTURE PROSPECTS (REVIEW)

A.A. Melissova, A.D. Daiyrbekova, M.Zh. Nurbekova, A.R. Okassov, B.T. Bolkenov, K.S. Bekbayev

Shakarim University, Semey, Kazakhstan

Corresponding author: k_bekbaev@mail.ru

The modern food industry faces many challenges, including accelerated processes of oxidative degradation of lipids and proteins, active reproduction of pathogenic microflora, limited shelf life and accumulation of toxic compounds, which necessitates the introduction of innovative and environmentally friendly technologies to ensure the quality and safety of products. In this context, molecular hydrogen (H_2) is considered a promising functional agent due to its high diffusion capacity and selective antioxidant activity, which allows it to effectively neutralize the most reactive radicals without interfering with natural biochemical processes. Studies show that the use of H_2 in the meat and dairy industries helps to slow down peroxidation processes, preserve nutritional value and organoleptic characteristics, reduce the formation of biogenic amines and inhibit the development of microbial flora, and its role in storage and freezing technologies is expressed in stabilizing tissue structures, preventing darkening of vegetables and fruits and reducing vitamin losses. The use of hydrogen in modified gas environments and biopolymer coatings opens up new opportunities for extending shelf life and increasing microbiological safety, while integration into plant-based raw material processing and beverage production processes helps preserve antioxidant potential, optimize fermentation, and reduce the formation of undesirable by-products. The totality of the data obtained confirms that molecular hydrogen is an environmentally friendly and effective tool for the sustainable development of food technologies.

Keywords: molecular hydrogen, food preservation, antioxidant activity, antimicrobial properties, biogenic amines, meat and dairy products, hydrogen-rich water (HRW), food safety.

ТАМАҚ ӨНІМДЕРІН ӨНДІРУДЕ ЖӘНЕ САҚТАУДА МОЛЕКУЛАЛЫҚ СУТЕКТІ ҚОЛДАНУ: ҚАЗІРГІ ЗАМАНҒЫ ҮРДІСТЕР МЕН ПЕРСПЕКТИВАЛАР (ШОЛУ)

А.А. Мелісова, А.Д. Дайырбекова, М.Ж. Нұрбекова, А.Р. Окасов, Б.Т. Болкенов, Қ.С. Бекбаев

Шәкәрім университеті, Семей, Қазақстан,
e-mail: k_bekbaev@mail.ru

Қазіргі заманғы тамақ өнеркәсібі липидтер мен ақуыздардың тотығу тозуының жеделдетілген процестерін, патогенді микрофлораның белсенді көбеюін, сақтау мерзімінің шектелуін және уытты қосылыстардың жинақталуын қоса алғанда, көптеген сын-қатерлерге тап болады, бұл өнімнің сапасы мен қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін инновациялық және экологиялық таза технологияларды енгізу қажеттілігін негіздейді. Бұл контексте молекулалық сутек (H_2) өзінің жоғары диффузиялық қабілеті мен селективті антиоксиданттық белсенділігінің арқасында перспективалы функционалдық агент болып саналады, бұл оған табиғи биохимиялық процестерге араласпай, ең реакцияға қабілетті радикалдарды тиімді бейтараптандыруға мүмкіндік береді. Зерттеулер H_2 ет және сүт өнеркәсібінде пайдалану тотығу процестерін баяулатуға, коректік құндылығы мен органолептикалық сипаттамаларын сақтауға, биогендік аминдердің пайда болуын азайтуға және микробтық флораның дамуын тежеуге көмектесетінін және оның сақтау және мұздату технологияларындағы рөлі тіндердің құрылымын тұрақтандырудан, көкөністер мен жемістердің қараңғылануын болдырмаудан және ысырапты азайтудан көрінеді дәрумендер. Түрлендірілген газ ортасы мен биополимерлік жабындарда сутекті пайдалану жарамдылық мерзімін ұзарту және микробиологиялық қа-

уіпсіздікті арттыру үшін жаңа мүмкіндіктер ашады, ал өсімдік шикізатын қайта өңдеу және сусындарды өндіру процестеріне интеграциялау антиоксиданттық әлеуетті сақтауға, ферменттеуді оңтайландыруға және жағымсыз жанама өнімдердің пайда болуын азайтуға көмектеседі. Алынған деректердің жиынтығы молекулярлық сутегі тамақ технологияларын тұрақты дамытудың экологиялық таза және тиімді құралы болып табылатынын растайды.

Түйін сөздер: молекулалық сутек, тамақ өнімдерін консервациялау, антиоксиданттық белсенділік, микробқа қарсы қасиеттер, биогендік аминдер, ет және сүт өнімдері, сутегіге байытылған су (HRW), тамақ өнімдерінің қауіпсіздігі

ПРИМЕНЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВОДОРОДА В ПРОИЗВОДСТВЕ И СОХРАНЕНИИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ (ОБЗОР)

А.А.Мелісова, А.Д.Дайырбекова, М.Ж.Нурбекова, А.Р.Окасов, Б.Т.Болкенов, К.С.Бекбаев

Шәкәрім Университет, Семей, Казахстан,
e-mail: k_bekbaev@mail.ru

Современная пищевая промышленность сталкивается со многими вызовами, включая ускоренные процессы окислительной деградации липидов и белков, активное размножение патогенной микрофлоры, ограниченный срок хранения и накопление токсичных соединений, что обуславливает необходимость внедрения инновационных и экологически чистых технологий для обеспечения качества и безопасности продукции. В этом контексте молекулярный водород (H_2) считается перспективным функциональным агентом благодаря своей высокой диффузионной способности и селективной антиоксидантной активности, что позволяет ему эффективно нейтрализовать наиболее реакционноспособные радикалы, не вмешиваясь в естественные биохимические процессы. Исследования показывают, что использование H_2 в мясной и молочной промышленности помогает замедлить процессы перекисного окисления, сохраняют питательную ценность и органолептические характеристики, уменьшают образование биогенных аминов и тормозят развитие микробной флоры, и его роль в технологиях хранения и замораживания выражается в стабилизации структур тканей, предотвращение потемнения овощей и фруктов и снижение потерь витаминов. Использование водорода в модифицированных газовых средах и биополимерных покрытиях открывает новые возможности для продления срока годности и повышения микробиологической безопасности, а интеграция в процессы переработки растительного сырья и производства напитков помогает сохранить антиоксидантный потенциал, оптимизировать ферментацию и уменьшить образование нежелательных побочных продуктов. Совокупность полученных данных подтверждает, что молекулярный водород является экологически чистым и эффективным инструментом устойчивого развития пищевых технологий.

Ключевые слова: молекулярный водород, консервация пищевых продуктов, антиоксидантная активность, антимикробные свойства, биогенные амины, мясные и молочные продукты, вода, обогащенная водородом (HRW), безопасность пищевых продуктов.

Introduction. Modern food production faces many challenges that directly affect their quality and safety: accelerated oxidation of fats and proteins, growth of pathogenic microflora, reduction of shelf life and formation of toxic compounds. All this prompts the search for new, effective and environmentally friendly preservation methods. In this context, molecular hydrogen (H_2) is considered as an extremely promising tool that can extend shelf life, stabilize food matrices and improve food safety [1]. Research interest in the use of H_2 in food technology is due to its physicochemical properties - small molecule size and high diffusion capacity, which ensures free penetration through cell membranes and uniform distribution in tissues, which allows hydrogen

to interfere with the oxidation-reduction balance and prevent deterioration of the organoleptic and nutritional characteristics of food [2]. One of the key features of hydrogen application is its antioxidant activity. It is highly selective: it effectively neutralizes only the most reactive and toxic radicals, such as •OH (hydroxyl radical) and ONOO (peroxynitrite), without affecting normal cellular signaling and metabolic processes [3].



Fig.1 - Applications of Molecular Hydrogen in Food Production and Preservation

In the meat industry, saturation of products with molecular hydrogen or the use of hydrogen-containing films helps reduce lipid and protein peroxidation, slow down the growth of microbial flora and increase product freshness. In the dairy and fat industry, H_2 helps preserve organoleptic properties and prevent rancidity, which is confirmed by studies using butter and margarines as an example [4].

Food packaging plays a vital role in food industry by maintaining product quality, extending shelf life and ensuring food safety. However, conventional food packaging systems are limited in their ability to inhibit bacterial growth, prevent oxidative spoilage, and preserve product freshness [5,6]. The use of H_2 in packaging and storage technologies is also promising. The introduction of molecular hydrogen into modified gas environments and the development of hydrogen-containing biopolymer films enhance the barrier properties of packaging, reducing oxidation and microbial contamination, thereby increasing the shelf life and safety of products [7].

Another important area is the reduction of the formation of biogenic amines and carcinogenic compounds. For example, saturation of meat raw materials with hydrogen reduces the accumulation of histamine, tyramine and other biogenic amines - markers of microbiological spoilage and potential danger to humans. In addition, the use of hydrogen as a fuel when frying meat reduces the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons and volatile organic compounds, reducing the carcinogenic load [8].

The topic is actively developing at the international level: in Japan, South Korea and China, fundamental and applied research is being conducted on the implementation of hydrogen technologies in food production, while in Europe

and the USA, attention is focused on the safety and technological integration of H_2 into existing lines [9]. Thus, the existing studies allow us to consider molecular hydrogen as a promising technological factor that simultaneously ensures an increase in shelf life, microbiological safety and preservation of the sensory properties of products. Generalization and in-depth analysis of the areas of application of H_2 in the food industry is an important task of modern science [10].

The objective of this review is to assess the existing and recent advances in the use of molecular hydrogen in food production and safety, provide a summary of the main research directions, and determine the feasibility of its practical implementation in the food production industry.

1. *Antioxidant properties of molecular hydrogen.*

The problem of oxidative processes in food is fundamental: they are the ones that cause loss of freshness, formation of rancid taste, darkening of color, appearance of foreign odors and destruction of nutrients. The most vulnerable are fats and proteins, which undergo peroxidation, resulting in the formation of toxic by-products. These reactions not only reduce shelf life, but also directly affect the safety of finished products. Therefore, the search for new antioxidant solutions that could be both effective and safe remains one of the priority tasks of modern nutrition science [11].

Antioxidant properties of molecular hydrogen (H_2) are now considered one of the key factors determining the prospects of its use in the food industry. The key feature of molecular hydrogen is its selective antioxidant activity. Unlike vitamins (ascorbic acid, tocopherols) or synthetic antioxidants (butylhydroxyanisole, butylhydroxytoluene), which act non-specifically and can interfere with beneficial metabolic processes, H_2 reacts exclusively with the most aggressive radicals. These include the hydroxyl radical (•OH) and peroxynitrite (ONOO) - highly reactive molecules that damage lipids, proteins, nucleic acids and initiate avalanche-like chain reactions of oxidation. At the same time, H_2 does not affect the superoxide anion or hydrogen peroxide, which perform important physiological functions, such as participation in cellular signaling. This selectivity distinguishes hydrogen favorably from all known antioxidants and makes it extremely attractive for applied use [12].

The use of H2 in food technology has demonstrated its effectiveness in a wide range of products. For example, in the meat industry, hydrogen treatment of raw materials reduced the level of malondialdehyde, a marker of lipid peroxidation, thereby preserving the taste and smell of products for longer. In the dairy industry, saturation of butter with hydrogen prevented rancidity, slowed down texture changes, and preserved the characteristic aroma. In studies with grain products, it was shown that treatment of rice with hydrogen nanobubble water improved storage, reduced the accumulation of volatile substances, and prevented the formation of unpleasant odors. In vegetables and fruits, the use of H2 allowed the preservation of bright color, reduced darkening, and preserved the content of vitamins C and E, which are usually quickly destroyed by oxygen [4].

The antioxidant properties of molecular hydrogen also have a pronounced sanitary and hygienic significance. Lipid oxidation products, such as aldehydes and ketones, can accumulate in the body and provoke the development of inflammatory processes and chronic diseases. For the food industry, this is not only a quality problem, but also an important safety issue: products with high concentrations of secondary oxidation products are potentially dangerous for consumers. The use of H_2 can significantly reduce the level of these compounds in finished products, minimizing health risks and increasing confidence in products on the market [7].

An important area of research is the study of the stability of the antioxidant effect of H_2 in various matrices. It has been shown that in fat systems (oils, margarines), H_2 effectively prevents rancidity and preserves the texture of the product, and in protein systems (meat, dairy products), it inhibits the formation of carbon derivatives and increases resistance to microbiological spoilage. In beverages, especially functional ones (juices, energy and sports drinks), the use of hydrogen-rich water (HRW) has

shown high efficiency in preserving the antioxidant potential and prolonging shelf life. These data expand the boundaries of hydrogen application and make it a universal tool for different segments of the food industry [8].

The complex of antioxidant properties of molecular hydrogen covers various levels of protection of food matrices: it prevents rancidity of lipid components, stabilizes the color and texture characteristics of protein structures and thereby maintains the organoleptic quality of products [13]. Considering H_2 as an innovative preservative, we can talk about its potential to partially replace or supplement existing antioxidant systems. In the future, this will contribute to the gradual rejection of excessive use of synthetic additives and the formation of ”clean” and environmentally sustainable food production technologies.

2. *Antimicrobial action of molecular hydrogen.*

Microbiological safety of food products remains one of the most pressing issues in the food industry, since it is the growth of pathogenic and opportunistic microflora that is the main reason for the reduction of shelf life, changes in organoleptic characteristics and the emergence of risks to human health [14]. The presence of microorganisms such as Salmonella spp., Listeria monocytogenes, Escherichia coli O157:H7 and Staphylococcus aureus leads to serious product losses and threatens the epidemiological situation. Traditional control methods are based on heat treatment, the addition of preservatives or the use of a modified gas environment, but their effectiveness is limited: heating destroys nutrients and vitamins, chemical additives reduce the environmental friendliness of the product and raise safety concerns, and gas mixtures do not always prevent the development of resistant forms of microorganisms. Against this background, molecular hydrogen (H_2) has emerged as a promising agent capable of providing an antimicrobial effect without negative consequences for food quality [15].

The antimicrobial effect of hydrogen is not associated with direct cell destruction, but with the regulation of the redox balance and a decrease in the level of oxidative stress in the environment. This leads to the suppression of the activity of membrane enzymes of microorganisms and the inhibition of cell division processes. Unlike antibiotics or traditional preservatives, H_2 does not disrupt beneficial microbiota and does not cause the formation of resistant strains, which makes its use safer and more environmentally friendly [16]. Experiments have shown that the use of hydrogen during the storage of meat products slows the growth of psychrotrophic bacteria and allows to extend their shelf life by several days. In addition, hydrogen reduces the formation of biogenic amines, such as histamine, tyramine and cadaverine, which are formed during the microbiological decomposition of proteins and can cause serious poisoning in humans [4].

Positive results have also been recorded in the dairy industry: saturation of dairy products with hydrogen inhibits the rapid development of acid-forming bacteria, which prevents premature fermentation and souring. When processing butter and margarines, hydrogen suppressed the growth of microorganisms and thereby slowed down the spoilage process, preserving the aroma and consistency of fatty products longer than the standard shelf life [8]. In seafood, treatment with hydrogen water reduced the rate of formation of amines and sulfur compounds, which are the result of protein degradation and determine the characteristic smell of spoilage. Similar effects were observed in the processing of vegetables and fruits, where hydrogen reduced the development of fungal microflora, helped to preserve the appearance of the fruit and prevented darkening of the surface [17].

An additional significance of the antimicrobial action of H2 is the reduction of the toxicological load of products. When hydrogen was used as a fuel in the heat treatment of meat, a reduction in the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons and volatile organic compounds with carcinogenic properties was recorded [9]. Thus, hydrogen not only inhibits the growth of microorganisms, but also reduces the formation of hazardous chemical compounds, which makes it especially valuable for comprehensive safety.

The totality of available data allows us to conclude that molecular hydrogen is an effective factor capable of significantly increasing the microbiological safety of food products. It simultaneously slows down the growth of pathogenic microflora, prevents the formation of toxic metabolites and helps preserve the freshness and quality of products. These properties make H_2 a promising tool for the development of new storage and processing technologies focused on sustainability, environmental friendliness and consumer health protection [10].

3. *Use of hydrogen in the meat and dairy industries.*

The meat and dairy industries are traditionally considered the most vulnerable segments of the food industry, as their products are prone to rapid oxidation and microbiological spoilage. The high content of proteins, lipids and moisture creates a favorable environment for the development of pathogenic flora and also accelerates oxidation processes. This is why meat, sausages, milk and dairy products have a limited shelf life and require the use of preservation technologies. Traditional methods include heat treatment, pasteurization, vacuum packaging and the use of preservatives, but they do not always ensure the preservation of organoleptic properties and often lead to the destruction of valuable nutrients. Against this background, molecular hydrogen (H_2) is considered an innovative and environmentally friendly tool that can provide comprehensive protection against oxidative and microbiological changes without compromising product quality [4].

The use of H2 in the meat industry demonstrates a number of positive effects. One of the main ones is the suppression of lipid peroxidation, which is the cause of rancidity and the formation of an unpleasant odor. Studies have shown that saturating meat raw materials with hydrogen or storing it in an atmosphere containing H2 reduces the level of malondialdehyde, a marker of lipid peroxidation, and slows down the formation of secondary oxidation products. As a result, meat retains its fresh color, characteristic taste, and elastic texture longer. In addition, H2 treatment prevents the destruction of proteins and amino acids, which helps preserve the nutritional value of the product. It is especially important that the effect is achieved without changing the organoleptic profile and without the need to use synthetic antioxidants such as butylhydroxyanisole or butylhydroxytoluene, the use of which is restricted by law [8].

Of additional importance is the effect of H2 on the microbiological stability of meat products. Experiments have shown that treating chilled meat with a hydrogen environment slows the growth of psychrotrophic bacteria, which increases the shelf life by 2-3 days. In sausages, the introduction of hydrogen reduced the formation of biogenic amines - histamine, tyramine, and cadaverine - which are formed during the microbial decomposition of proteins. These compounds not only worsen organoleptic characteristics, but also pose a serious risk to human health, causing allergic reactions and food poisoning. Thus, hydrogen ensures both sensory and sanitary-hygienic stability of meat products [4].

No less impressive results have been obtained in the dairy industry. Butter and margarine are particularly susceptible to rancidity due to the high concentration of unsaturated fatty acids, which are easily oxidized. Saturation of such products with H_2 significantly slows down their spoilage, prevents the formation of an unpleasant odor and bitter taste, and also maintains a soft consistency. In milk, hydrogen reduces the activity of acid-forming bacteria, which prevents rapid souring and extends shelf life without the use of antibiotics or preservatives. Moreover, experiments have shown that hydrogen treatment prevents the destruction of vitamins A and E, which are usually lost as a result of oxidative processes, which increases the nutritional value of dairy products [9].

The possibility of using H2 in modified gas mixtures for food packaging attracts particular attention from researchers. The introduction of hydrogen into the gas composition together with carbon dioxide and nitrogen provides an additional level of protection against oxidative processes and microbial contamination. This approach allows for simultaneously extending the shelf life and

preserving the organoleptic qualities of meat and dairy products. Moreover, the development of active packaging technologies using hydrogen-containing biopolymer films opens up new prospects: such materials not only create a barrier for oxygen and microorganisms but also act as an active preservative [10].

An interesting area is the use of hydrogen as a fuel in the thermal processing of meat products. It has been shown that the use of hydrogen for frying meat reduces the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and volatile organic compounds with carcinogenic properties. At the same time, the product retains its usual sensory characteristics, such as taste and aroma. This makes the technology especially valuable for meat processing plants seeking to improve product safety and reduce health risks for consumers [8].

Taken together, the results of numerous studies confirm that molecular hydrogen is an effective tool for extending shelf life and improving the quality of meat and dairy products. Its use allows for the simultaneous solution of problems of antioxidant protection, microbiological stability and toxicological safety. Unlike traditional methods, H_2 provides a comprehensive effect and is environmentally safe, which makes its implementation particularly relevant in the context of the global trend towards “clean label” and sustainable production technologies [9].

4. *Use of Hydrogen in Freezing and Storage Technologies.*

Freezing and refrigerated storage are basic methods of preserving food products, but their effectiveness is limited by a number of serious problems [18]. At low temperatures, the oxidation of fats and proteins slows down, but does not stop completely, which leads to a gradual deterioration in organoleptic characteristics. Meat and fish darken, lose elasticity and aroma, dairy products acquire a rancid taste, vegetables and fruits lose color and freshness. An additional problem is the formation of ice crystals in tissues: when frozen, they damage cell membranes, disrupt water-holding capacity and worsen the texture of products after defrosting. These changes not only reduce consumer properties, but also increase the volume of food waste. Against this background, molecular hydrogen (H_2) is increasingly considered as an innovative factor that can improve storage efficiency and minimize damage that occurs during the freezing process [4].

The use of H_2 in storage technologies has demonstrated high efficiency in the meat and fish industries. Studies have shown that saturation of meat raw materials with hydrogen before freezing reduces the intensity of lipid peroxidation, which helps preserve the natural color and aroma of the meat. Similar results were obtained in the storage of seafood. Experiments with dried shrimp showed that the use of a modified atmosphere with H_2 effectively slows down quality deterioration during accelerated storage, extending shelf life without the use of synthetic preservatives. At the same time, the products retained their characteristic taste and texture, which is especially important for premium products aimed at export [19].

The effectiveness of hydrogen has also been confirmed in the storage of plant products. Fruits and vegetables are very sensitive to oxidative processes and enzymatic darkening, which is associated with the activity of polyphenol oxidase. When processing strawberries with a hydrogen-containing packaging atmosphere, it was possible to significantly slow down the loss of vitamins, prevent darkening, and preserve the fresh aroma of the berries throughout the entire storage period. Such results demonstrate the potential of H_2 as an environmentally friendly tool for the transportation and sale of perishable plant products [20].

Additional studies on fresh-cut fruits showed that hydrogen can protect products even under conditions of high tissue metabolism. Thus, when storing apples in an atmosphere with H_2, there was a slowdown in browning, an improvement in texture, and the preservation of antioxidant activity. Hydrogen not only extended the shelf life, but also preserved the functional properties of the product, making it more useful for consumers. These results are especially important for the fresh-cut sector, where the shelf life is usually limited to a few days [21].

The use of H_2 in the dairy industry has also yielded convincing results. In experiments with butter and margarine, it was shown that hydrogen saturation slows the rate of rancidity, reduces the accumulation of biogenic amines, and allows for an extension of shelf life to 30 days without changing sensory characteristics. The products retained a soft consistency and natural taste, making H_2 an effective tool for increasing the stability of fatty products. In fresh milk and fermented milk drinks, H_2 slowed the development of acid-forming bacteria, prevented premature souring, and increased stability during storage under refrigerated conditions [22].

Particular attention is paid to the combined use of H_2 with modern methods of active packaging. Hydrogen can be included in modified gas mixtures (MAP), together with nitrogen and carbon dioxide, providing multi-level protection: from oxidative processes, microbial contamination and enzymatic changes. Experiments have shown that MAP with H_2 allows preserving the freshness of vegetables, fruits and seafood much longer than traditional gas mixtures. In addition, the development of hydrogen-containing biopolymer films opens up new possibilities in the field of ”smart packaging”, where the material not only isolates the product from the external environment, but also actively maintains its quality during storage [23].

The body of evidence suggests that hydrogen could become a key factor in storage and freezing technologies. It reduces the rate of oxidation processes, stabilizes tissue structure, prolongs freshness and increases product safety. In the future, hydrogen storage technologies could play an important role in the sustainable development strategy of the food industry, reducing food losses and minimizing the use of chemical additives.

5. *Hydrogen and Packaging Technologies.*

Modern food packaging technologies are rapidly evolving, moving from a simple barrier approach to the concept of active and “smart” packaging. Today, packaging materials must not only protect the product from oxygen, moisture, light and microorganisms, but also actively influence the preservation of its quality, nutritional and sensory characteristics. In this context, molecular hydrogen (H_2) is a promising tool that can be integrated into various packaging solutions due to its unique antioxidant and antimicrobial properties, as well as high diffusion capacity [23].

One of the most studied areas is modified atmosphere packaging (MAP), where hydrogen is used in combination with traditional gases – nitrogen and carbon dioxide. Adding H_2 to MAP can significantly extend the shelf life of perishable products. Studies on strawberries have shown that hydrogen reduces the activity of enzymes responsible for browning, slows down the loss of antioxidants and preserves the freshness, taste and aroma of berries [20]. Similar results were obtained for fresh-cut apples, where H_2 prevented oxidative browning, preserved vitamin C and improved the texture of the product throughout the entire storage period [21].

Promising data have also been obtained for seafood. Experiments with dried shrimp demonstrated that MAP with hydrogen reduced the rate of lipid oxidation and rancid odor formation, significantly increasing shelf life under accelerated testing conditions [19]. These results highlight the versatility of H_2, applicable not only to fruits and vegetables, but also to protein products with a high degree of susceptibility to oxidative spoilage.

Much attention is paid to the development of active biopolymer films enriched with molecular hydrogen. Such materials work as “smart packaging”: they create a physical barrier and simultaneously ensure product stabilization due to antioxidant and antimicrobial action. Biopolymer coatings with H_2 are especially in demand for meat and dairy products, where maximum slowdown of microbiological activity and reduction of the rate of oxidative processes are required. This approach opens up opportunities for abandoning synthetic preservatives and meets modern trends for “clean label” [19].

The use of micro- and nanobubble water enriched with hydrogen (HRW) deserves special attention. Nanobubbles have high stability and a large specific surface area, which ensures the gradual release of H_2 in the packaging environment. This allows

for a long-term maintenance of the antioxidant and antimicrobial effect, reducing microbial contamination and preserving the nutritional value of products. Studies have shown that HRW slows down the loss of texture and nutrients in fruits and vegetables during storage [2]. Moreover, HRW can be used in combination with MAP and active coatings, creating a multi-level protection system.

Importantly, hydrogen packaging technologies combine efficiency and environmental friendliness. They reduce the use of synthetic additives, extend the shelf life of products, reduce food losses and increase consumer confidence in natural products. In addition, due to the flexibility of application, H_2 can be used for different product categories - from fresh fruits and vegetables to meat, dairy products and seafood. All this makes molecular hydrogen a powerful tool for the transition to sustainable and innovative storage technologies [10].

6. *Hydrogen in the processing of plant foods and beverages.*

Processing of plant raw materials and beverages is one of the most dynamically developing sectors of the food industry. The key tasks here are the preservation of nutrients, aromatic compounds, color and texture of products, as well as ensuring their microbiological stability during long-term storage. In recent years, molecular hydrogen (H_2) has been actively considered as an innovative agent capable of significantly improving the quality of plant foods and beverages due to its antioxidant and antimicrobial action, as well as participation in metabolic stabilization [10].

One of the most significant areas is the use of H2 to stabilize juices, nectars, and functional beverages. Experiments have shown that enriching fruit juices with molecular hydrogen slows down the degradation of vitamin C and polyphenols, which are important biologically active components. At the same time, beverages retain their fresh taste and aroma longer, and their antioxidant potential remains high even after long-term storage [22]. Such results allow us to consider hydrogen as a promising alternative or supplement to traditional preservation methods.

Much attention is also paid to preserving the quality of freshly cut vegetables and greens. Hydrogen-rich water (HRW) treatment reduces the rate of darkening of leafy greens, cucumbers and tomatoes, reduces moisture loss and prevents the accumulation of toxic metabolites. At the same time, the cellular structure of tissues is preserved, which is directly related to the prolongation of freshness and an increase in the shelf life of products. In the conditions of the fresh-cut market, where visual appeal and nutritional value are critically important, such approaches have high practical potential [9].

Promising research is also being conducted in the field of storing grapes, berries and citrus fruits. Hydrogen exhibits the ability to slow down the processes of glycolysis and enzymatic darkening, reduce the activity of polyphenol oxidase and catalases, which has a positive effect on the preservation of color and aroma. In particular, when storing grapes, the use of HRW and modified media with H_2 made it possible to reduce weight loss and preserve antioxidant properties throughout the entire storage period [2].

An equally important area is winemaking and the production of fermented beverages. Hydrogen enrichment of wort or intermediate semi-finished products helps reduce oxidative reactions that often worsen the aromatic profile of wine and beer. It has also been shown that H_2 can modulate yeast activity, increase fermentation efficiency while reducing the accumulation of unwanted by-products [17]. These data open up new prospects for the use of H_2 in the high-value-added beverage industry.

The totality of available studies confirms that the use of molecular hydrogen in the processing of plant-based raw materials and beverages can become a breakthrough direction, combining the tasks of maintaining quality, increasing shelf life and forming functional value. In the long term, such technologies will reduce food losses, increase the competitiveness of products and bring to market new categories of beverages and plant-based products with improved characteristics [10].

Conclusion. Molecular hydrogen (H_2) has evolved in recent years from an object of fundamental medical research into a promising tool

for the food industry. The unique properties of H_2, including selective antioxidant activity, the ability to reduce microbiological load and a positive effect on the preservation of organoleptic characteristics, make it a universal agent applicable in a wide range of food processing and storage segments.

The data reviewed show that hydrogen can be effectively used to extend the shelf life of meat, dairy and plant products, as well as to improve the stability of beverages. It demonstrates advantages in modified atmosphere packaging (MAP), in active biopolymer films and in technologies using hydrogen micro- and nanobubble water. Such approaches can significantly reduce the use of chemical preservatives, improve product quality and safety, and increase consumer confidence in clean label products.

Particular attention should be paid to the potential of hydrogen in the beverage and fresh-produce industries: the use of H_2 helps slow down browning, preserve texture, taste and antioxidant properties of products. In the long term, these technologies can make a significant contribution to reducing food losses and increasing the sustainability of the agro-industrial sector.

Despite the positive results, it should be noted that the field of application of molecular hydrogen in the food industry is at the stage of active development. For full implementation, large-scale research into the mechanisms of its action, standardization of technologies and assessment of economic feasibility are required. An important area will also be the development of a regulatory framework defining the permissible conditions and methods of using hydrogen in food technologies.

Molecular hydrogen is thus an innovative and environmentally friendly tool that can change the approach to ensuring the quality and safety of food products. Its implementation in the practice of processing, storage and packaging opens up new horizons for the creation of sustainable and functional solutions in the food industry of the future.

Funding: *This research was funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant No. BR24992914).*

References

1. Alwazeer D. et al. Molecular hydrogen: a sustainable strategy for agricultural and food production challenges // Frontiers in Food Science and Technology. - 2024. - Vol.4:1448148. DOI 10.3389/frfst.2024.1448148.

2. Cai C. et al. Molecular Hydrogen Improves Rice Storage Quality via Alleviating Lipid Deterioration and Maintaining Nutritional Values//Plants.-2022.-Vol.11(19):2588. DOI 10.3390/plants11192588.

3. Yıldız F., LeBaron T.W., Alwazeer D. A comprehensive review of molecular hydrogen as a novel nutrition therapy in relieving oxidative stress and diseases: Mechanisms and perspectives // Biochemistry and Biophysics Reports.- 2025.-Vol.41:101933. DOI 10.1016/j.bbrep.2025.101933.

4. Alwazeer D., Engin T. Moleküler Hidrojenin Gıda Teknolojilerinde Kullanımı // Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology.- 2022.- Vol.10(7).-P.1205-1213. DOI 10.24925/turjaf.v10i7.1205-1213.5100.

5. Zhang Z., Xu G., Hu S. A comprehensive review on the recent technological advancements in the processing, safety, and quality control of Ready-to-Eat meals // Processes.- 2025.-Vol.13(3): 901. DOI 10.3390/pr13030901.

6. Yan M.R., Hsieh S., Ricacho N. Innovative Food Packaging, Food Quality and Safety, and Consumer Perspectives // Processes.-2022.-Vol.10(4):747 DOI 10.3390/pr10040664.

7. Akbar U. et al. Hydrogen assisted technologies in food processing, preservation and safety: A comprehensive review // Food Control.- 2025. -Vol.178:111535. DOI 10.1016/j.foodcont.2025.111535.

8. Russell G., Nenov A., Hancock J.T. How hydrogen (H_2) can support food security: from farm to fork // Applied Sciences.- 2024. - Vol.14(7): 2877. DOI 10.3390/app14072877.

9. Hancock J.T., Russell G., Stratakos A.C. Molecular Hydrogen: The Postharvest Use in Fruits, Vegetables and the Floriculture Industry // Applied Sciences. - 2022. - Vol.12(20):10448. DOI 10.3390/app122010448

10. Alwazeer D. et al. Editorial:Recent knowledge on the applications of molecular hydrogen in plant physiology, crop production, and food processing // Frontiers in Food Science and Technology. - 2024. - Vol. 4: 1501046. DOI 10.3389/frfst.2024.1501046.

11. Ohsawa I. et al. Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals // Nature Medicine. - 2007. - Vol.13.- P.688-694. DOI 10.1038/nm1577.

12. Hirayama M. et al. Inhalation of hydrogen gas elevates urinary 8-hydroxy-2′-deoxyguanine in Parkinson’s disease // Medical Gas Research. - 2019.-Vol.8(4).- P.152-158. DOI 10.4103/2045-9912.248264.

13. Akbar U. et al. Hydrogen assisted technologies in food processing, preservation and safety: A comprehensive review//Food Control.-2025.-Vol.178:111535. DOI 10.1016/j.foodcont.2025.111535.

14. Alegbeleye O. et al. Microbial spoilage of vegetables, fruits and cereals // Applied Food Research// - 2022. - Vol.2(1): 100122. DOI 10.1016/j.afres.2022.100022.

15. Ohta S. Molecular hydrogen as a preventive and therapeutic medical gas: Initiation, development and potential of hydrogen medicine // Pharmacology and Therapeutics.- 2014. -Vol.144(1).- P.1-11. DOI 10.1016/j.pharmthera.2014.04.006.

16. Ichihara M. et al. Beneficial biological effects and the underlying mechanisms of molecular hydrogen: Comprehensive review of 321 original articles // Medical Gas Research. - 2015. - Vol.5(1): 12. DOI 10.1186/s13618-015-0035-1.

17. Alwazeer D. et al. Molecular hydrogen: a sustainable strategy for agricultural and food production challenges // Frontiers in Food Science and Technology.-2024.-Vol.4:1448148. DOI 10.3389/frfst.2024.1448148.

18. Lisboa H.M., Pasquali M.B., Dos Anjos A.I. Innovative and sustainable food preservation techniques: enhancing food quality, safety, and environmental sustainability // Sustainability. - 2024. – Vol.16(18):8223. DOI 10.3390/su16188223.

19. Jiang K. et al. Hydrogen-based modified atmosphere packaging delays the deterioration of dried shrimp (Fenneropenaeus chinensis) during accelerated storage // Food Control.-2023.-Vol.152: 109897. DOI 10.1016/j.foodcont.2023.109897.

20. Lei T., Qian J., Yin C. Equilibrium modified atmosphere packaging on postharvest quality and antioxidant activity of strawberry // International Journal of Food Science & Technology. - 2022. - Vol. 57(11): 6981-6990. DOI 10.1111/ijfs.16052.

21. Jin S. et al. Fresh apple slice preservation driven by molecular hydrogen // Food Chemistry. - 2025. - Vol.488: 144886. DOI 10.1016/j.foodchem.2025.144886.

22. Alwazeer D. et al. Hydrogen incorporation into butter improves its microbial and chemical stability, biogenic amine safety, quality attributes, and shelf-life // LWT. - 2024.- Vol.206: 116550. DOI 10.1016/j.lwt.2024.116550.

23. Alwazeer D. et al. Recent knowledge on the applications of molecular hydrogen in plant physiology, crop production, and food processing // Frontiers in Food Science and Technology. - 2024. - Vol.4: 1501046. DOI: 10.3389/frfst.2024.1501046.

Information about the authors

Melissova A. - PhD student, Shakarim University, Semey, Kazakhstan, e-mail: aknurmelissova@gmail.com;

Daiyrbekova A. - Master student, Shakarim University, Semey, Kazakhstan, e-mail: a.dayirbekova_03@mail.ru:

Nurbekova M. - Master student, Shakarim University, Semey, Kazakhstan, e-mail: Zhanbekkyzy90@bk.ru;

Bolkenov B. - PhD, Shakarim University, Semey, Kazakhstan, e-mail: b.bolkenov@shakarim.kz;

Bekbayev K. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Shakarim University, Semey, Kazakhstan, e-mail: k_bekbaev@mail.ru;

Okassov A.- PhD student, Shakarim University, Semey, Kazakhstan, e-mail: oar20@mail.ru.

Сведения об авторах

Мелісова А.А.-докторант, Шәкәрім Университет, Семей, Казахстан, e-mail: aknurmelissova@gmail.com;

Дайырбекова А.Д. – магистрант, Шәкәрім Университет, Семей, Казахстан, e-mail: a.dayirbekova_03@mail.ru;

Нұрбекова М. Ж.- магистрант, Шәкәрім Университет, Семей, Казахстан, e-mail: Zhanbekkyzy90@bk.ru;

Болкенов Б. Т. - PhD, Шәкәрім Университет, Семей, Казахстан, e-mail: b.bolkenov@shakarim.kz;

Бекбаев К. С. - кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Шәкәрім Университет, Семей, Казахстан, e-mail: k_bekbaev@mail.ru;

Окасов А.Р. - докторант, Шәкәрім Университет, Семей, Казахстан, e-mail: oar20@mail.ru.

МРНТИ 65.59.31 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1124**

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУКОПЧЕНОЙ КОЛБАСЫ С УЛУЧШЕННЫМИ КАЧЕСТВЕННЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ БЕЗОПАСНОСТИ

А.М. Бекахметов, С.С. Алдабергенова, Ш.Б. Байтукенова, А.Т. Костанова
НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина», Астана, Казахстан
Корреспондент-автор: alibek_kz_pvl@mail.ru

В современных условиях мясопереработки крайне важно создавать продукты, которые одновременно полезны, питательны и безопасны. Данное исследование было направлено на разработку улучшенной рецептуры полукопченой колбасы. Улучшение достигалось за счет добавления в состав белково-жировой композиции, обогащённой пищевыми волокнами. Эта композиция состояла из костного жира, костного бульона и клетчатки в пропорции 40:40:20. Было протестировано четыре варианта колбасы с разным содержанием этой смеси (0%, 5%, 10%, 15%). Лучшие результаты по вкусу, запаху, консистенции, а также по химическому составу и безопасности показал образец с 10% добавлением композиции. Анализ показал, что в этом образце содержание белка значительно превышало минимальные требования (20,85 %), а содержание жира было снижено до 7,15 %. Углеводы в продукте отсутствовали. Микробиологические тесты подтвердили безопасность продукта, соответствующую требованиям ТР ТС 034/2013. Кроме того, колбаса содержала большое количество важных аминокислот, таких как триптофан, фенилаланин и метионин, что повышает её биологическую ценность. Новая рецептура не только улучшила пищевую ценность колбасы, но и сделала её более сочной, упругой, с насыщенным мясным ароматом. Результаты исследования позволяют рекомендовать внедрение этой технологии на мясоперерабатывающих предприятиях Казахстана для производства более полезной и безопасной мясной продукции.

Ключевые слова: полукопченая колбаса, белково-жировая смесь, клетчатка, пищевая безопасность, аминокислотный состав, физико-химические показатели.

ЖАҚСЫРТЫЛҒАН САПА ҚАУІПСІЗДІК КӨРСЕТКІШТЕРІ БАР ЖАРТЫЛАЙ ЫСТАЛҒАН ШҰЖЫҚТАРДЫ ӨНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ

А.М. Бекахметов, С.С. Алдабергенова, Ш.Б. Байтукенова, А.Т. Костанова
«С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан, e-mail: alibek_kz_pvl@mail.ru

Ет өңдеудің қазіргі жағдайында пайдалы, қоректік және қауіпсіз өнімдерді жасау өте маңызды. Бұл зерттеу жартылай ысталған шұжықтың жақсартылған формуласын жасауға бағытталған. Жақсартуға диеталық талшықтармен байытылған ақуыз-май құрамын қосу арқылы қол жеткізілді. Бұл композиция 40:40:20 пропорциясында сүйек майы, сүйек сорпасы және талшықтан тұрды. Бұл қоспаның әртүрлі мазмұны бар шұжықтың төрт нұсқасы сыналды (0%, 5%, 10% және 15%). Дәмі, иісі, консистенциясы, химиялық құрамы мен қауіпсіздігі бойынша ең жақсы нәтижелер композицияны 10% қосатын үлгіні көрсетті. Талдау көрсеткендей, бұл үлгіде ақуыздың мөлшері минималды талаптардан едәуір асып түсті (20,85%) және майдың мөлшері 7,15% дейін төмендеді. Өнімде көмірсулар жоқ. Микробиологиялық сынақтар 034/2013 КО ТР талаптарына сәйкес келетін өнімнің қауіпсіздігін растады. Сонымен қатар, шұжықта триптофан, фенилаланин және метионин сияқты маңызды аминқышқылдарының көп мөлшері болды, бұл оның биологиялық құндылығын арттырады. Жаңа рецепт шұжықтың тағамдық құндылығын жақсартып қана қоймай, оны шырынды, сербімді, бай ет дәмі мен хош иісіне айналдырды. Зерттеу нәтижелері бұл технологияны Қазақстанның ет өңдеу кәсіпорындарында неғұрлым пайдалы және қауіпсіз ет өнімдерін өндіру үшін енгізуді ұсынуға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: жартылай ысталған шұжық, ақуыз-май қоспасы, клетчатка, тағамдық өнімдердің қауіпсіздігі, аминқышқылдарының құрамы, физика-химиялық көрсеткіштері.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF SEMI-SMOKED SAUSAGE WITH IMPROVED QUALITY SAFETY INDICATORS

A.M. Bekakhmetov✉, S.S. Aldabergenova, Sh.B. Baytukenova, A.T. Kostanova

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan,
e-mail: alibek_kz_pvl@mail.ru

In modern conditions of meat processing, it is extremely important to create products that are both healthy, nutritious and safe. This study was aimed at developing an improved formulation of semi-smoked sausage. The improvement was achieved by adding a protein-fat composition enriched with dietary fiber. This composition consisted of bone fat, bone broth and fiber in a 40:40:20 ratio. Four sausage variants with different contents of this mixture (0%, 5%, 10% and 15%) were tested. The sample with 10% addition of the composition showed the best results in taste, smell, consistency, as well as in chemical composition and safety. The analysis showed that the protein content in this sample significantly exceeded the minimum requirements (20.85%), and the fat content was reduced to 7.15%. There were no carbohydrates in the product. Microbiological tests have confirmed the safety of the product, which meets the requirements of TR CU 034/2013. In addition, the sausage contained a large number of important amino acids such as tryptophan, phenylalanine and methionine, which increases its biological value. The new recipe not only improved the nutritional value of the sausage, but also made it juicier, firmer, with a rich meat flavor and aroma. The results of the study allow us to recommend the introduction of this technology at meat processing enterprises in Kazakhstan for the production of more useful and safe meat products.

Keywords: semi-smoked sausage, protein-fat mixture, fiber, food safety, amino acid composition, physico-chemical parameters.

Введение. В последние годы мясная промышленность все чаще стремится к производству продуктов, соответствующих современным запросам покупателей – с пониженным содержанием жира, обладающих полезными свойствами, безопасных и богатых питательными веществами [1]. Повышенное внимание к здоровому образу жизни стимулирует создание рецептур, направленных на уменьшение количества жира и калорий, при этом сохраняя приятный вкус и текстуру продукта. Особую важность приобретает использование функциональных добавок, таких как пищевые волокна, белково-жировые эмульсии, модифицированные жиры и гидроколлоиды, которые дают возможность создавать продукты с улучшенными потребительскими и биологическими качествами [2]. Научные данные свидетельствуют о том, что добавление растительной клетчатки (пшеничной, яблочной, бамбуковой и других видов) способствует увеличению способности удерживать воду, что, как следствие, продлевает срок хранения мясных изделий [3]. Современные методы модификации жирового состава мясных продуктов также включают замену животных жиров на более устойчивые и безопасные жировые компоненты - олеогоели, стабилизированные эмульсии, сложные белково-жировые системы. Такие ингридиенты, согласно исследованиям Igenbayev et al. (2023) [4], позволяют существенно сократить долю насыщенных жиров и повысить питательную ценность готового продукта, не ухудшая его вкусовые качества. При этом сохраняется приоритет соответствия продукции установленным санитарным и гигиеническим требованиям, в том числе ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции». Продукты, реализуемые на рынке, должны быть свободны от опасных микроорганизмов, такие как бактерии группы кишечной палочки, сульфитредуцирующие клостридии и Staphylococcus aureus, что требует внедрения инновационных технологических решений, гарантирующих микробиологическую стабильность. В этой связи перспективным на-

правлением является разработка рецептур полукопченых колбас с использованием функциональных белково-жировых композиций, обогащенных пищевой клетчаткой, что позволяет одновременно улучшить пищевую и биологическую ценность, органолептические свойства и обеспечить безопасность продукта. Основной задачей данного исследования являлось создание и оценка технологии полукопченой колбасы с добавлением белково-жировой смеси на основе костного жира, костного бульона и клетчатки в различных пропорциях, а также определение оптимального варианта по совокупности органолептических, физико-химических и микробиологических показателей.

Материалы и методы. В качестве основного сырья для производства полукопченых колбас использовали говядину 1 сорта с содержанием жира не более 20%. Жировой компонент был представлен костным жиром, полученным путем вытапливания из говяжьих трубчатых костей (20-25%) [5]. Коллагенсодержащую фракцию получали из костного бульона. В качестве структурообразователя и влагоудерживающего агента применяли пшеничную клетчатку. Все используемые ингредиенты соответствовали требованиям, установленным в следующих нормативных документах: ГОСТ 34119-2017 [6], ТР ТС 034/2013 [7] и ГОСТ Р 54644-2011 [8].

Для исследования были разработаны три экспериментальных образца полукопченой колбасы, отличающиеся уровнем добавления белково-жировой композиции (БЖК): 5%, 10% и 15% от массы основного мясного сырья. БЖК представляла собой смесь костного жира, бульона и клетчатки в соотношении 40:40:20%, предварительно гомогенизированную [9].

Технологический процесс производства колбас включал следующие этапы:

- измельчение мясного сырья и других компонентов на волчке с диаметром отверстий решетки 8 мм;

- посол и созревание фарша в течение 8-10 часов при температуре 2-4 °С;

- внесение БЖК в фарш и его последующее перемешивание;

- наполнение белковых оболочек диаметром 45-55 мм полученным фаршем;

- осадка батонов колбасы в течение 4 часов при температуре 6-8 °С;

- термическая обработка в коптильно-варочной камере, включающая сушку при 45 °С (30 минут), копчение при 65 °С (60 минут) и варку при 75 °С до достижения температуры 72 °С в центре батона.

- охлаждение и хранение готовой продукции при температуре +2…+4 °С.

Для оценки качества полученных образцов колбас применялись следующие методы:

- органолептическая оценка: проводилась в соответствии с ГОСТ 9959-2015 [10] и включала оценку внешнего вида, консистенции, цвета, вкуса и запаха по 5-балльной шкале.

Определение физико-химических показателей:

- массовая доля влаги определялась методом высушивания до постоянной массы по ГОСТ 9793-2016 [11];

- массовая доля белка определялась методом Кьельдаля (кислотный гидролиз с последующей дистилляцией аммиака и титрованием) по ГОСТ 25011-2017 [12];

- массовая доля жира определялась методом Сокслета (экстракция эфиром из высушенного образца) по ГОСТ 23042-2015 [13];

- содержание золы определялось путем прокаливания образца в муфельной печи до полного сгорания органических веществ по ГОСТ 31727-2012 [14].

Микробиологические показатели:

- общее количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) - по ГОСТ 10444.15-94 [15];

- БГКП (E. coli) - по ГОСТ 31747-2012 [16];

- staphylococcus aureus - по ГОСТ 30347-97 [17];

- сульфитредуцирующие клостридии - по ГОСТ 29185-91 [18].

Аминокислотный состав - метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) после кислотного гидролиза по ГОСТ Р ИСО 13903-2016 [19].

Жирнокислотный состав - методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектором (ГОСТ Р 51483-99), после трансэтерификации до метиловых эфиров жирных кислот [20].

Уточнённые методики определения влагосвязывающей, водоудерживающей и жиросвязывающей способности:

Влагосвязывающая способность (ВСС) определялась методом прессования по В.П. Воробьёву (ГОСТ 9794-74). Навеску 1,00±0,01 г прессовали при нагрузке 1 кг в течение 10 минут. ВСС рассчитывали по формуле:

$$ВСС = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

где, m_1 – масса исходной пробы, г;

m_2 – масса пробы после прессования, г.

Водоудерживающая способность (ВУС) определялась по методу Вартаняна: пробу нагревали при 80 °С в течение 20 минут, затем центрифугировали (3000 об/мин, 10 мин).

$$ВУС = \left(1 - \frac{m_в}{m_0}\right) \times 100 \quad (2)$$

где, m_0 – масса исходной пробы;

$m_в$ – масса выделившейся влаги.

Жиросвязывающая способность (ЖСС) определялась рефрактометрическим методом (РД 10.02.03-17). Пробу 1 г смешивали с 10 мл масла, выдерживали при 60 °С 30 минут, затем центрифугировали. ЖСС = (mz/m0) × 100.

$$ЖСС = \frac{m_3}{m_0} \times 100$$

где, m_0 – масса исходной пробы;

m_3 – масса связанного жира.



Рис.1 - Обработка костного жира и смешивание его с клетчаткой - подготовительный этап получения белково-жировой композиции



Рис.2 - Костные остатки после длительной варки - источник жира и бульона, богатого коллагеном и минералами

На рисунке 1 представлен процесс подготовки белково-жировой композиции. Костный жир растапливают и тщательно перемешивают с пищевой клетчаткой. Это необходимо для создания однородной эмульсии, которая улучшает текстуру колбасы и снижает содержание животного жира.

На рисунке 2 изображены варёные кости после экстракции бульона и жира. Они являются сырьём для получения бульона, богатого коллагеном, минеральными веществами и экстрактивными веществами, придающими продукту вкус и питательную ценность.

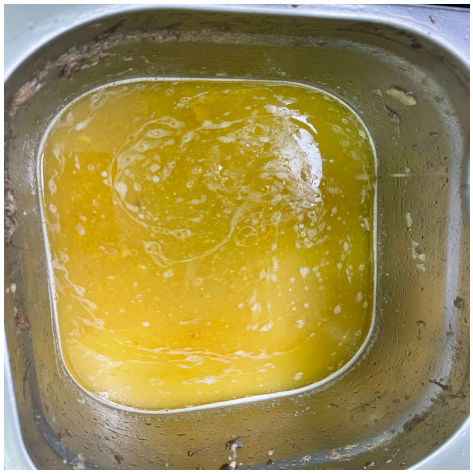


Рис.3 - Чистый костный жир после экстракции - компонент белково-жировой эмульсии

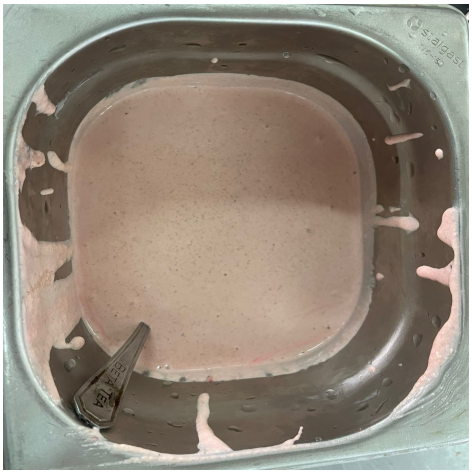
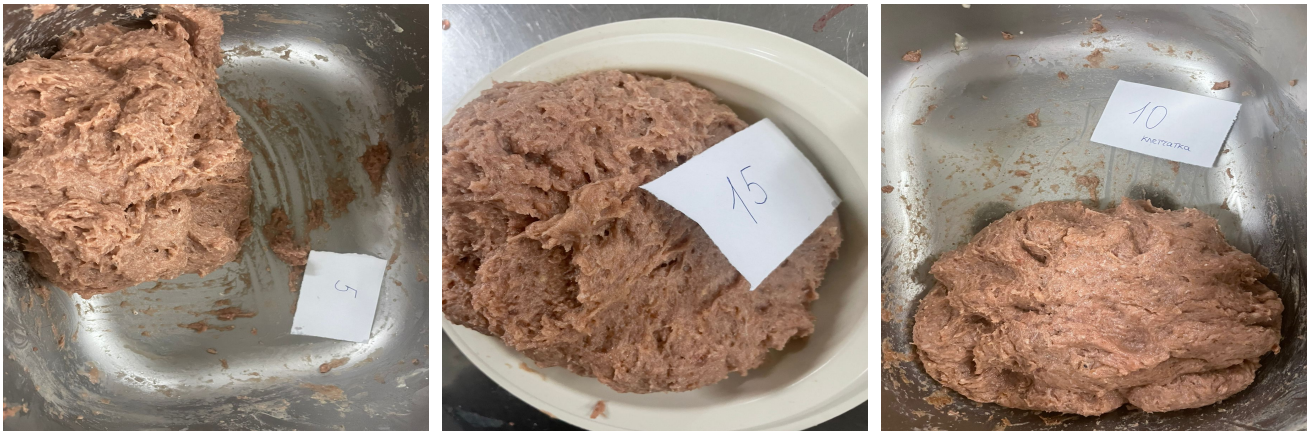


Рис.4 - Компонентный раствор для эмульгирования перед смешиванием с основным

Рисунок 3 показывает готовый костный жир, полученный при вытопке костей. Он служит основным компонентом белково-жировой эмульсии, придаёт продукту сочность и насыщенный вкус.

Смесь костного бульона и растопленного жира с клетчаткой перед эмульгированием. Важный этап для образования стабильной структуры будущего продукта.



а) б) в)

Рис.5 - Образцы с 5%, 10 % и 15% добавлением белково-жировой композиции (БЖК) и клетчатки

На рисунке 5а представлено добавление 5 % БЖК позволяет снизить жирность продукта, улучшая его структурные и вкусовые свойства.

Образец на рисунке 5б с 10% добавлением БЖК признан оптимальным по органолептическим и физико-химическим характеристикам.

Такая добавка обеспечивает сбалансированный вкус, хорошую текстуру и снижение жирности.

Образец 5в с максимальной 15% долей БЖК отличается более плотной текстурой и выраженным жировым вкусом. Используется для изучения предельного уровня добавки без ухудшения органолептики.

Обсуждение и результаты. В ходе исследований была определена формула белково-жировой добавки (представлена в таблице 1), и выявлено, что рецепт с 10% содержания БЖК (таблица 2) демонстрирует наилучшие показатели качества и безопасности качества и безопасности конечного продукта. Использование белковой-жировой смеси в составе позволило увеличить содержание белка до 20,85 % (что превышает установленный минимум 8 % согласно ТР ТС 034/2013 [10]) и уменьшить содержание жира до 7,15 % - значения значительно ниже максимально допустимого уровня (57 %) для полукопченых колбас. Параллельно с этим зафиксировано уменьшение жирности, что положительно сказывается на питательной ценности продукта. Результаты органолептической оценки подтвердили высокую сочность и плотную текстуру изделия.

Примечание: экспериментальные исследования для образцов с 5 % и 15 % БЖК не проводились, поэтому сравнительные количественные данные не представлены. Указанные варианты рассмотрены как перспективные направления последующих исследований.

Таблица 1 - Рецептура белково-жировой добавки

Сырье	**Кол-во (на 100 кг продукта), %**	**Особенности**
Костный жир	40	Источник коллагена, жирорастворимых витаминов и жирных кислот.
Бульон костный	40	Источник коллагена, минералов и аминокислот.
Клетчатка (пшеничная)	20	Важный элемент здорового питания, который помогает организму лучше усваивать витамины и другие питательные вещества, что положительно влияет на общее здоровье.
Итого:	100	

Белковая добавка улучшает структурно-механические свойства колбасы, увеличивает содержание белка и придает сочность. Жирность регулируется за счет костного жира и бульона. Клетчатка помогает связывать желчные кислоты, которые необходимы для усвоения жирорастворимых витаминов (A, D, E, K).

Таблица 2 - Рецептура полукопченая колбаса

Сырье	**Полукопченая колбаса «Прима» по ГОСТу**	**Полукопченая колбаса (разработанная)**		
		№ **1**	№ **2**	№ **3**
Говядина жилованая 1/с	40	40	40	40
Белково-жировая добавка	-	5	10	15
Свинина полужирная	30	-	-	-

Грудинка свиная	30	-	-	-
Мясо птицы (бедра)	-	55	50	45
	100	**100**	**100**	**100**
Специй, кг/100кг				
Соль поваренная пищевая	2,375	2,375	2,375	2,375
Сахар-песок	0,100	0,100	0,100	0,100
Перец черный или белый молотый	0,100	0,100	0,100	0,100
Орех мускатный или кардамон молотые	0,050	0,050	0,050	0,050
Аскорбиновая кислота	0,056	0,056	0,056	0,056
Нитрит натрия	0,056	0,056	0,056	0,056

Выход готового продукта - 81%.

Таблица 3 показывает, что влагосвязывающая способность образца с 10 % БЖК составила 73,40 %, а водоудерживающая способность - 70,83 %, что значительно выше контрольных значений для традиционных изделий без функциональных добавок. Это объясняется свойствами пищевой клетчатки, способной удерживать влагу в структуре мясного фарша.

Микробиологические показатели (Таблица 4) свидетельствуют о полной безопасности продукции. В образцах не обнаружены БГКП, сульфитредуцирующие клостридии и *Staphylococcus aureus*, что полностью соответствует требованиям ТР ТС 034/2013.

Таблица 3 - Физико-химические показатели образца с 10 % белковой смеси

Наименование показателей, единицы измерения	**Норма по ТР ТС 034**	**Результаты исследований образца с 10% белковой добавкой**	**НД на методы испытаний**
Массовая доля влаги, %	≤ 65	62,90±0,39	ГОСТ 33319-2015
Массовая доля белка, %	≥ 8	20.85±0.05	ГОСТ 25011-2017
Массовая доля жира, %	≤ 57	7.15±0.03	ГОСТ 23042-2015
Массовая доля углеводов, %	≤10	Не обнаружено	Перманганометрический метод
Массовая доля золы, %		3,73±0,04	ГОСТ 31727-2012
pH, ед.	Норма 5.3-6.3	5,32	ГОСТ Р 51478-99
Влагосвязывающая способность, %		73,40±0,88	Метод Пресования
Водоудерживающая способность, %		70,83±0,75	Метод Вартаняна
Жиросвязывающая способность, %		51,24±0,49	Рафрактометрический метод

Таблица 4 - Микробиологические показатели готовой продукции

Бактерии группы кишечной палочки (коли-формы) в 1г продукта	Не допускается	Не обнаружено	ГОСТ 31747-2012
Сульфитредуцирующие клостридии в 0,01г продукта	Не допускается	Не обнаружено	ГОСТ 29185-2014
S aureus в 1г продукта	Не допускается	Не обнаружено	ГОСТ 31747-2012

Аминокислотный состав образца с 10% БЖК характеризовался повышенным содержанием триптофана, фенилаланина, метионина и треонина. Данные результаты согласуются с исследованиями Choi и соавторов [21], которые отмечают существенное повышение биологической ценности продуктов за счет подобных добавок. Органолептическая оценка продемонстрировала, что образец с 10 % БЖК отличался ярко выраженным мясным вкусом, насыщенным запахом, упругой структурой и высокой сочностью. Это соответствует выводам Muguerza и других исследователей, указывающих на благоприятное воздействие эмульгированных жировых систем на сенсорные качества продуктов. В итоге, предложенная технология позволяет производить продукт с улучшенными питательными и функциональными характеристиками, сохраняя при этом его микробиологическую безопасность, что обосновывает перспективы ее внедрения на промышленных предприятиях Казахстана.

Выводы. Целью настоящего исследования являлось решение актуальной для современной мясной промышленности задачи - разработка технологии производства полукопчёной колбасы с улучшенными органолептическими и безопасными характеристиками посредством применения белково-жировой композиции (БЖК), обогащённой пищевыми волокнами. Для всесторонней оценки влияния введения БЖК на свойства продукта применялись современные методы физико-химического, микробиологического, органолептического и аминокислотного анализа.

Таким образом, разработанная технология доказала свою эффективность и может быть рекомендована для промышленного внедрения.

Микробиологические показатели полностью соответствуют санитарным требованиям и подтверждают безопасность продукта.

Органолептические показатели улучшены: отмечены сочность, выраженный мясной вкус и упругость.

Водоудерживающая способность увеличена на 15–20 % благодаря применению пищевой клетчатки.

Содержание жира снижено до 7,15 %, что более чем в 7 раз ниже допустимого уровня по ТР ТС 034/2013.

Введение 10 % белково-жировой композиции позволило увеличить содержание белка на 57 % относительно минимальных нормативных требований.

В рамках работы были сформулированы три рецепта полукопчёной колбасы, отличающиеся содержанием БЖК (5%, 10% и 15%). Полученные результаты показали, что оптимальным является внесение БЖК в количестве 10%, поскольку именно эта рецептура обеспечила наилучшие органолептические показатели (выраженный мясной вкус, сочность, упругость), существенное увеличение содержания белка (до 20,85%) и значительное снижение жирности продукта (до 7,15%), при полном отсутствии углеводов и сохранении стабильной микробиологической безопасности. Данные результаты подтверждают целесообразность использования БЖК в мясной продукции и расширяют научные знания в области технологий функциональных мясных продуктов, обогащённых пищевыми во-

локнами и белково-жировыми эмульсиями.

Физико-химические характеристики опытных образцов свидетельствуют о формировании стабильной и однородной структуры продукта, что обусловлено эмульгирующими свойствами костного жира и бульона, а также способностью клетчатки удерживать влагу и жир. Этот результат соответствует современным мировым исследованиям, подтверждающим положительное влияние растительных волокон и жировых эмульсий на качество мясных изделий. Микробиологические исследования подтвердили соответствие продукции требованиям ТР ТС 034/2013, что является ключевым фактором для промышленного производства и доверия потребителей.

Проведённая работа обосновывает возможность промышленного производства полукопчёной колбасы с улучшенными качественными и функциональными свойствами. Разработка представляет практический интерес для предприятий мясоперерабатывающей отрасли, особенно в связи с растущим спросом на продукты здорового питания с пониженным содержанием жира и повышенной пищевой и биологической ценностью. Технология отличается высокой адаптивностью, позволяя адаптировать рецептуры под различные виды мясного сырья, включая мясо птицы и говядину, в зависимости от доступности региональных ресурсов. Проведённое исследование не только решает прикладную задачу создания качественного и безопасного мясного продукта, но и вносит значимый вклад в развитие научных и технологических основ производства функциональных мясных изделий, соответствующих современным мировым тенденциям и стандартам.

Литература

1. Mehta N., Ahlawat S.S., Sharma D.P., Dabur R.S. Novel trends in development of dietary fiber rich meat products - a critical review // Journal of Food Science and Technology. - 2015. - Vol.52(2). - P. 633-647. DOI 10.1007/s13197-013-1010-2.

2. Talukder S. Effect of dietary fiber on properties and acceptance of meat products: a review // Critical Reviews in Food Science and Nutririon. - 2015. Vol.55(7). -P.1005-1011. DOI 10.1080/10408398.2012.682230.

3. Ciobanu M.-M., Manoliu D.-R., Ciobotaru M. C., Flocea E.-I., Boișteanu P.-C. Dietary fibres in processed meat: a review on nutritional enhancement, technological effects, sensory Implications and consumer perception // Foods. - 2025. - Vol.14(9). -P.1459. DOI 10.3390/foods14091459.

4. Igenbayev A., Zhumabaeva B., Nurymkhan G., Konuspayeva G. Substitution of pork fat with beeswax-structured oleogels in semi-smoked sausages // Applied Sciences. - 2023. - Vol.13(9): 5312. DOI 10.3390/app13095312.

5. Câmara A. K. F. I., Paglarini C. de S., Vidal V. A. S., dos Santos M., Pollonio M. A. R. Meat products as prebiotic food carrier // Advances in Food and Nutrition Research. - 2020. - Vol.94. -P.223-265. DOI 10.1016/bs.afnr.2020.06.009.

6. ГОСТ 34119-2017. Мясо и мясная продукция. Термины и определения. - М.: Стандартинформ. - 2017. - 28 с.

7. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 034/2013. О безопасности мяса и мясной продукции. - М.: ЕЭК. -2013. - 48 с.

8. ГОСТ Р 54644-2011. Изделия колбасные. Общие технические условия. - М.: Стандартинформ, 2011. - 21 с.

9. Muguerza E., Gimeno O., Ansorena D., Bloukas J. G., Astiasarán I. Effect of replacing pork backfat with pre-emulsified olive oil on lipid fraction and sensory quality of Chorizo de Pamplona - a traditional

Spanish fermented sausage // Meat Science. - 2001. - Vol.59(3). - P. 251-258. DOI 10.1016/S0309-1740(01)00075-4.

10. ГОСТ 9959-2015. Мясо и мясопродукты. Методы органолептической оценки. - М.: Стандартинформ. - 2015. - 12 с.

11. ГОСТ 9793-2016. Мясо и мясопродукты. Определение массовой доли влаги. - М.: Стандартинформ. - 2016. - 16 с.

12. ГОСТ 25011-2017. Мясо и мясопродукты. Определение содержания белка методом Кьельдаля. - М.: Стандартинформ. - 2017. - 22 с.

13. ГОСТ 23042-2015. Мясо и мясопродукты. Определение массовой доли жира. - М.: Стандартинформ. - 2015. - 14 с.

14. ГОСТ 31727-2012. Мясо и мясопродукты. Определение зольности. - М.: Стандартинформ. - 2012. - 10 с.

15. ГОСТ 10444.15-94. Продукты пищевые. Методы выявления и подсчета КМАФАнМ. - М.: Стандартинформ. - 1995. - 15 с.

16. ГОСТ 31747-2012. Продукты пищевые. Методы выявления бактерий группы кишечной палочки (E. coli). - М.: Стандартинформ. - 2012. - 19 с.

17. ГОСТ 30347-97. Продукты пищевые. Методы выявления Staphylococcus aureus. - М.: Стандартинформ. - 1997. - 14 с.

18. ГОСТ 29185-91. Продукты пищевые. Методы выявления сульфитредуцирующих клостридий. - М.: Стандартинформ. -1992. - 10 с.

19. ГОСТ Р ИСО 13903-2016. Мясо и мясопродукты. Определение аминокислотного состава методом ВЭЖХ. - М.: Стандартинформ. -2016. - 18 с.

20. ГОСТ Р 51483-99. Жиры и масла. Определение жирнокислотного состава методом газовой хроматографии. - М.: Стандартинформ. - 1999. - 20 с.

21. Choi Y.S., Choi J.H., Han D.J., Kim C.J. Effects of Replacing Pork Back Fat with Vegetable Oils and Rice Bran Fiber on the Quality of Reduced-Fat Frankfurters // Meat Science. - 2010. - Vol.84(3). - P. 557-563. DOI 10.1016/j.meatsci.2009.10.012.

References

1. Mehta N., Ahlawat S.S., Sharma D.P., Dabur R.S. Novel trends in development of dietary fiber rich meat products - a critical review // Journal of Food Science and Technology. - 2015. - Vol.52(2). - P. 633-647. DOI 10.1007/s13197-013-1010-2.

2. Talukder S. Effect of dietary fiber on properties and acceptance of meat products: a review // Critical Reviews in Food Science and Nutririon. - 2015. Vol.55(7). -P.1005-1011. DOI 10.1080/10408398.2012.682230.

3. Ciobanu M.-M., Manoliu D.-R., Ciobotaru M. C., Flocea E.-I., Boişteanu P.-C. Dietary fibres in processed meat: a review on nutritional enhancement, technological effects, sensory Implications and consumer perception // Foods. - 2025. - Vol.14(9). -P.1459. DOI 10.3390/foods14091459.

4. Igenbayev A., Zhumabaeva B., Nurymkhan G., Konuspayeva G. Substitution of pork fat with beeswax-structured oleogels in semi-smoked sausages // Applied Sciences. - 2023. - Vol.13(9): 5312. DOI 10.3390/app13095312.

5. Câmara A. K. F. I., Paglarini C. de S., Vidal V. A. S., dos Santos M., Pollonio M. A. R. Meat products

as prebiotic food carrier // Advances in Food and Nutrition Research. - 2020. - Vol.94. -P.223-265. DOI 10.1016/bs.afnr.2020.06.009.

6. GOST 34119-2017. Mjaso i mjasnaja produkcija. Terminy i opredelenija. - M.: Standartinform. - 2017. - 28 s. [in Russian]

7. Tehnicheskij reglament Tamozhennogo sojuza TR TS 034/2013. O bezopasnosti mjasa i mjasnoj produkcii. - M.: EJeK. -2013. - 48 s. [in Russian]

8. GOST R 54644-2011. Izdelija kolbasnye. Obshhie tehnicheskie uslovija. - M.: Standartinform, 2011. - 21 s. [in Russian]

9. Muguerza E., Gimeno O., Ansorena D., Bloukas J. G., Astiasarán I. Effect of replacing pork backfat with pre-emulsified olive oil on lipid fraction and sensory quality of Chorizo de Pamplona - a traditional Spanish fermented sausage // Meat Science. - 2001. - Vol.59(3). - P. 251-258. DOI 10.1016/S0309-1740(01)00075-4.

10. GOST 9959-2015. Mjaso i mjasoprodukty. Metody organolepticheskoj ocenki. - M.: Standartinform. - 2015. - 12 s. [in Russian]

11. GOST 9793-2016. Mjaso i mjasoprodukty. Opredelenie massovoj doli vlagi. - M.: Standartinform. - 2016. - 16 s. [in Russian]

12. GOST 25011-2017. Mjaso i mjasoprodukty. Opredelenie soderzhanija belka metodom K’ el’ dalja. - M.: Standartinform. - 2017. - 22 s. [in Russian]

13. GOST 23042-2015. Mjaso i mjasoprodukty. Opredelenie massovoj doli zhira. - M.: Standartinform. - 2015. - 14 s. [in Russian]

14. GOST 31727-2012. Mjaso i mjasoprodukty. Opredelenie zol’ nosti. - M.: Standartinform. - 2012. - 10 s. [in Russian]

15. GOST 10444.15-94. Produkty pishhevye. Metody vyjavlenija i podscheta KMAFAnM. - M.: Standartinform. - 1995. - 15 s. [in Russian]

16. GOST 31747-2012. Produkty pishhevye. Metody vyjavlenija bakterij gruppy kishechnoj palochki (E. coli). - M.: Standartinform. - 2012. - 19 s. [in Russian]

17. GOST 30347-97. Produkty pishhevye. Metody vyjavlenija Staphylococcus aureus. - M.: Standartinform. - 1997. - 14 s. [in Russian]

18. GOST 29185-91. Produkty pishhevye. Metody vyjavlenija sul’ fitreducirujushhih klostridij. - M.: Standartinform. -1992. - 10 s. [in Russian]

19. GOST R ISO 13903-2016. Mjaso i mjasoprodukty. Opredelenie aminokislotnogo sostava metodom VJeZhH. - M.: Standartinform. -2016. - 18 s. [in Russian]

20. GOST R 51483-99. Zhiry i masla. Opredelenie zhirnokislotnogo sostava metodom gazovoj hromatografii. - M.: Standartinform. - 1999. - 20 s. [in Russian]

21. Choi Y.S., Choi J.H., Han D.J., Kim C.J. Effects of Replacing Pork Back Fat with Vegetable Oils and Rice Bran Fiber on the Quality of Reduced-Fat Frankfurters // Meat Science. - 2010. - Vol.84(3). - P. 557-563. DOI 10.1016/j.meatsci.2009.10.012.

Сведения об авторах

Бекахметов А.М. - докторант НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина», Астана, Казахстан, e-mail: alibek_kz_pvl@mail.ru;

Алдабергенова С.С. - доктор PhD НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина», Астана, Казахстан, e-mail: ass_1982@mail.ru;

Байтукенова Ш.Б. - кандидат технических наук, и.о. ассоциированного профессора НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина», Астана, Казахстан, e-mail: baytukenova75@mail.ru;

А.Т. Костанова - докторант НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина», Астана, Казахстан, e-mail: anel_kostanova@mail.ru.

Information about the authors

Bekakhmetov A.M. - PhD student of the «The Department of Food Technology and Processing Products», NJSC «S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University», Astana, Kazakhstan, e-mail: alibek_kz_pvl@mail.ru;

S.S. Aldabergenova– PhD Doctor of the «The Department of Food Technology and Processing Products», NJSC «S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University», Astana, Kazakhstan, e-mail: ass_1982@mail.ru;

Sh.B. Baytukenova - candidate of technical sciences, associate professor of the «The Department of Food Technology and Processing Products», NJSC «S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University», Astana, Kazakhstan, e-mail: baytukenova75@mail.ru;

A.T. Kostanova - PhD student of the «The Department of Food Technology and Processing Products», NJSC «S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University», Astana, Kazakhstan, e-mail: anel_kostanova@mail.ru.

МРНТИ 68.35.31 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1274**

ВЛИЯНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ЗАРОДЫШЕЙ НА ПОСЕВНЫЕ КАЧЕСТВА СЕМЯН НУТА И ГОРОХА, ВОЗДЕЛЫВАЕМЫХ В УСЛОВИЯХ КАЗАХСТАНА

[1]М.У. Жонысова, [1]Н. Онгарбаева, [2]Б.О. Кулжанова, [1]М. Байгайыпкызы

Алматинский Технологический университет, Алматы, Казахстан,
ТОО «Научно-Образовательный центр «Qazyna»,Алматы, Казахстан

Корреспондент-автор: mira_86u@mail.ru

В статье представлены результаты исследования ферментативной активности зародышей и посевных качеств семян нута (Cicer arietinum L.) и гороха (Pisum sativum L.), возделываемых в условиях Республики Казахстан. Изучены показатели активности основных дыхательных ферментов – дегидрогеназ, каталазы и пероксидазы, а также их влияние на энергию прорастания и всхожесть семян. Выявлены значительные межвидовые различия: семена гороха отличались более высокой ферментативной активностью (98,5 %), что коррелировало с увеличением энергии прорастания (r = 0,89). Разработана модель прогнозирования всхожести на основе ферментативных показателей: Всхожесть = 0,95 × Активность + 5,2 (R^2 = 0,92).

Полученные результаты подтверждают возможность использования тетразолиевого теста как экспресс-метода оценки жизнеспособности семян и представляют практическую ценность для семеноводства и переработки зернобобовых культур.

Ключевые слова: нут, горох, ферментативная активность, дегидрогеназы, энергия прорастания, тетразолиевый тест, посевные качества, корреляция.

INFLUENCE OF EMBRYONIC ENZYMATIC ACTIVITY ON THE SEED QUALITY OF CHICKPEA AND PEA GROWN UNDER THE CONDITIONS OF KAZAKHSTAN

[1]M.U. Zhonyssova, [1]N.Ongarbayeva, [2]B.O. Kulzhanova, [1]M. Baigaiypkyzy

Almaty Technological University, Kazakhstan,
LLP «Scientific and Educational Center «Qazyna», Kazakhstan,
e-mail: mira_86u@mail.ru

The article presents the results of a study on the enzymatic activity of embryos and seed germination qualities of chickpea (Cicer arietinum L.) and pea (Pisum sativum L.) grown under the agroclimatic conditions of the Republic of Kazakhstan. The activity of key respiratory enzymes – dehydrogenases, catalase, and peroxidase – and their relationship with germination energy and seed viability were analyzed. Significant interspecific differences were found: pea seeds exhibited higher enzymatic activity (98.5%), which positively correlated with germination energy (r = 0.89). A predictive model of germination based on enzymatic indicators was developed: Germination = 0.95 × Activity + 5.2 (R^2 = 0.92).

The findings confirm the feasibility of using the tetrazolium test as a rapid method for assessing seed viability and have practical significance for seed production and processing of legume crops.

Keywords: chickpea, pea, enzymatic activity, dehydrogenases, germination energy, tetrazolium test, seed quality, correlation.

ҚАЗАҚСТАН ЖАҒДАЙЫНДА ӨСІРІЛЕТІН НОҚАТ ПЕН БҰРШАҚ ТҰҚЫМДАРЫНЫҢ ЕГІСТІК ҚАСИЕТТЕРІНЕ ҰРЫҚ ФЕРМЕНТТЕРІНІҢ БЕЛСЕНДІЛІГІ ӘСЕРІ

[1]М.У. Жонысова, [1]Н. Онгарбаева, [2]Б.О. Құлжанова, [1]М. Байғайыпқызы

Алматы Технологиялық Университеті, Қазақстан,
«Qazyna» Ғылыми-білім беру Орталығы, ЖШС, Қазақстан,
e-mail: mira_86u@mail.ru

Мақалада Қазақстан Республикасының жағдайында өсірілетін ноқат (Cicer arietinum L.) пен бұршақтың (Pisum sativum L.) тұқым ұрықтарының ферментативтік белсенділігі мен егіндік сапасы зерттеу нәтижелері келтірілген. Негізгі тыныс алу ферменттерінің – дегидрогеназа, каталаза және пероксидазаның белсенділігі мен олардың тұқымның өнгіштік энергиясына және өну қабілетіне әсері анықталды. Зерттеу нәтижесінде бұршақ тұқымында ферментативтік белсенділіктің жоғары екені (98,5 %) және оның өнгіштік энергиясымен тығыз байланысы бар екені (r = 0,89) дәлелденді. Ферментативтік көрсеткіштер негізінде өнгіштікті болжау моделі ұсынылды:

Өнгіштік = 0,95 × Белсенділік + 5,2 (R^2 = 0,92).

Зерттеу нәтижелері тетразолий сынамасын тұқымның тіршілік қабілетін жедел бағалау әдісі ретінде қолдануға болатынын көрсетіп, бұршақ тұқымдас дақылдарды тұқым шаруашылығында және өңдеу кәсіпорындарында пайдалануға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: ноқат, бұршақ, ферментативтік белсенділік, дегидрогеназа, өнгіштік энергиясы, тетразолий сынамасы, егіндік сапа, корреляция.

Введение. Зернобобовые культуры играют важную роль в продовольственном обеспечении населения, обладая высокой питательной ценностью и способностью к обогащению почвы азотом за счёт симбиотической фиксации [1]. Нут (Cicer arietinum L.) и горох (Pisum sativum L.) являются одними из наиболее перспективных зернобобовых культур, возделываемых в Казахстане, благодаря своей адаптированности к засушливым условиям, биохимическому составу и спросу на внутреннем и внешнем рынках [2].

Особый интерес в последние годы представляет использование пророщенных семян нута и гороха в пищевой промышленности. В результате прорастания в семенах активизируются ферментативные процессы, повышается содержание биологически активных веществ, улучшаются органолептические характеристики и усвояемость питательных компонентов [3,4]. Пророщенные семена применяются в производстве продуктов быстрого приготовления - таких как хлопья, крупы, салаты и функциональные смеси [5]. Таким образом, расширение ассортимента на основе проращиваемого сырья требует научно обоснованного подхода к оценке его качества.

Одним из важнейших показателей жизнеспособности и пищевой ценности пророщенных семян является ферментативная активность зародышей, в частности активность дегидрогеназ, участвующих в дыхании и энергетическом обмене [6]. Определение этих показателей на ранних этапах позволяет прогнозировать как посевные качества семян, так и их пригодность для пищевого использования [7]. Тем не менее, в условиях Казахстана комплексные исследования, сочетающие агротехнологическую и пищевую направленность, остаются ограниченными.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки комплексной методики оценки качества семян нута и гороха, сочетающей биохимические и физиологические подходы. Это особенно важно в контексте растущего спроса на высококачественное сырьё для пищевой промышленности, основанное на использовании пророщенных зернобобовых. Современные методы, такие как тетразолиевый тест, позволяют оценивать жизнеспособность и физиологическую полноценность семян более точно и оперативно, чем традиционные агротехнические показатели.

Целью исследования является комплексная оценка ферментативной активности зародышей и посевных качеств семян нута и гороха, возделываемых в условиях Казахстана, с применением современных физиологических и аналитических методов, включая тетразолиевое тестирование.

В связи с поставленной целью исследования были поставлены следующие задачи:

- определение активности дегидрогеназ в зародышах семян нута и гороха методом тетразолиевого теста;

- оценка энергии прорастания и лабораторной всхожести семян;

- сравнительный анализ физиологических показателей семян нута и гороха;

- выявление корреляционных связей между ферментативной активностью зародышей и посевными качествами семян.

Впервые проведена комплексная оценка ферментативной активности зародышей нута и гороха, возделываемых в условиях Казахстана, с использованием тетразолиевого метода в качестве диагностического инструмента. На основе полученных данных установлены достоверные корреляционные связи между показателями ферментативной активности и основными посевными характеристиками, что позволяет прогнозировать посевные качества и технологический потенциал семян при их использовании как в сельскохозяйственных, так и в пищевых целях.

Разработанный подход может быть использован в практике семеноводства для предварительной оценки качества семян перед посевом.

Результаты исследования могут быть применены при отборе сырья для пищевой промышленности с учётом пригодности семян к проращиванию и последующему использованию в производстве продуктов функционального питания.

Повышается эффективность использования местных сортов нута и гороха для расширения ассортимента продуктов быстрого приготовления и здорового питания.

Объект исследования. В качестве объектов исследования использовались семена нута сорта Нұрлы-80 и гороха сорта Ақсары, выведенные специалистами ТОО «КазНИИЗиР» (Казахский научно-исследовательский институт земледелия и растениеводства). Посевы нута размещались в южных регионах Казахстана – Туркестанской, Алматинской и Жамбылской областях, тогда как горох возделывался как в южной, так и в северной зонах страны.

Для проведения экспериментов применялись образцы семян урожая 2023–2024 гг.

Отбор проб и их подготовка осуществлялись в соответствии с требованиями ГОСТ 13586.3–2015 «Зерно. Правила приёмки и методы отбора проб» [8]. Из каждой партии формировали три параллельные навески, на основании которых готовили средний образец для последующего анализа.

Материалы и методы. Методы исследования ферментативной активности.

Ферментативную активность зародышей семян нута и гороха оценивали комплексно, по показателям, характеризующим интенсивность метаболических процессов.

Активность каталазы, пероксидазы и полифенолоксидазы определяли стандартными химико-аналитическими методами:

- каталазы - по количеству разложенного пероксида водорода титрованием 0,1 н раствором перманганата калия;

- пероксидазы - спектрофотометрически по интенсивности окрашивания гуайаколового раствора при 470 нм;

- полифенолоксидазы - колориметрически с пирокатехином при 410 нм.

Дополнительно дыхательную активность зародышей определяли по активности дегидрогеназ методом тетразолиевого теста с использованием анализатора *GERMPRO*. Реакцию восстановления 1% раствора хлорида трифенилтетразолия регистрировали фотометрически по интенсивности образования формазана.

Все измерения проводили в трёхкратной повторности, с последующей статистической обработкой данных методами вариационного анализа. Полученные результаты использовали для оценки взаимосвязи ферментативной активности зародышей и посевных качеств семян.

Методы определения посевных качеств семян. Определение всхожести проводили по методике ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести» [9]. Для анализа отбирали 100 семян каждого образца, проращивание осуществляли в лабораторных условиях на фильтровальной бума-

ге при температуре 20-22 °С. Учет всхожести проводили на 8-е сутки, результат выражали в процентах от общего количества посеянных семян. Определение посевных качеств семян проводили по методике ГОСТ Р 52325–2005. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества [10].

Энергию прорастания устанавливали по количеству нормально проросших семян через 4 суток после закладки на проращивание, также в процентах.

Жизнеспособность семян определяли по активности дегидрогеназ методом окрашивания семян раствором 2,3,5-трифенилтетразолия хлорида (ТТХ) в концентрации 1 %. После выдерживания в тёмном месте при температуре 30 °С в течение 3 ч оценивали интенсивность окрашивания зародышей, что позволило судить о метаболической активности и физиологическом состоянии семян.

Полученные данные использовали для оценки исходных свойств семян и установления взаимосвязи между посевными качествами и ферментативной активностью зародышей. Все эксперименты проводились в трёхкратной повторности с последующей статистической обработкой результатов методами вариационного анализа.

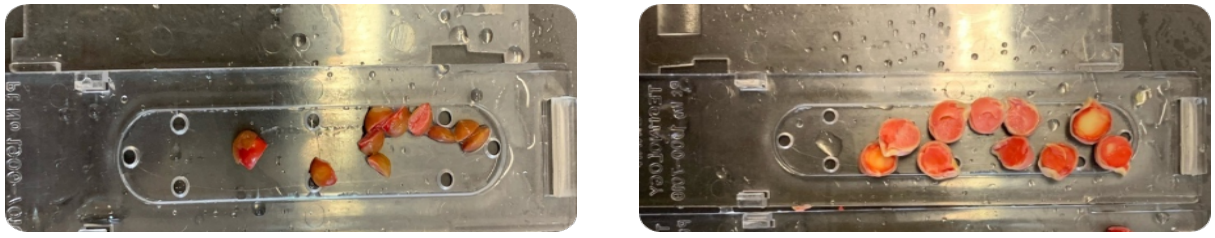
Методы статистической обработки данных. Обработку экспериментальных данных проводили с использованием методов вариационной статистики. Для каждого показателя вычисляли среднее арифметическое значение ( ), стандартное отклонение (σ) и стандартную ошибку среднего (±). Достоверность различий между вариантами определяли с применением критерия Стьюдента (t) при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Статистическую обработку полученных данных выполняли с использованием программных пакетов *Microsoft Excel 2019* и *Statistica 10*. 0, что обеспечивало высокую точность вычислений и наглядное представление результатов. Графическое отображение данных (диаграммы, гистограммы) осуществлялось с помощью программы *OriginPro 2022*.

Все измерения проводились не менее чем в трёхкратной повторности, результаты представлены в виде среднего значения ± стандартная ошибка среднего ($\bar{x} \pm Sx$). Для оценки взаимосвязей между изучаемыми параметрами использовали корреляционный анализ с расчётом коэффициента корреляции Пирсона (r), что позволило установить статистически значимые зависимости между ферментативной активностью зародышей и посевными качествами семян.

Результаты и обсуждение. Ферментативная активность зародышей.

Для характеристики интенсивности метаболических процессов в зародыше была проведена оценка активности дегидрогеназ методом тетразолиевого теста. Определение выполняли на анализаторе *GERMPRO* с применением 1%-го раствора хлорида трифенилтетразолия (ТТХ).



а **б**

Рис.1- Определение энзиматической активности зародышей семян: *а- нут, б - горох*

Результаты показали наличие выраженных межвидовых различий (рисунок 1). У гороха отмечалась высокая активность дегидрогеназ - 98,5 ± 0,5 %, тогда как у нута данный показатель

составил 85,3 ± 1,2 %.

Интенсивность окрашивания формазана коррелировала с дыхательной активностью зародышей. У гороха наблюдалось равномерное и насыщенное красное окрашивание тканей, соответствующее высокой активности окислительно-восстановительных ферментов (оптическая плотность – 0,85 ± 0,03). У нута, напротив, зафиксировано неравномерное окрашивание с менее выраженной пигментацией (оптическая плотность - 0,63 ± 0,05), что свидетельствует о более низком уровне ферментативной активности (рисунок 1).

Посевные качества семян. Посевные качества определялись по показателям энергии прорастания, лабораторной всхожести, количеству аномальных проростков и загнивших семян. Эти параметры отражают физиологическое состояние семенного материала и его способность формировать полноценные проростки. Результаты стандартного тестирования семян нута и гороха представлены в таблицах 1 и 2, рисунок 2.

Таблица 1 - Посевные качества семян нута

Показатель	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Среднее
Энергия прорастания, %	91,8	93,5	92,7	92,7±0,9
Всхожесть, %	90,3	93,1	91,8	91,7±1,4
Аномальные проростки, %	3,2	2,7	3,5	3,1±0,4
Загнившие семена, %	6,5	4,2	4,7	5,1±1,2

Таблица 2 - Посевные качества семян гороха

Показатель	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Среднее
Энергия прорастания, %	97,5	96,8	97,2	97,2±0,4
Всхожесть, %	96,8	95,7	97,1	96,5±0,7
Аномальные проростки, %	1,2	2,1	1,5	1,6±0,5
Загнившие семена, %	1,7	2,2	1,3	1,7±0,5

Сравнительный анализ показал, что горох характеризуется более высокой энергией прорастания (97,2 %) и всхожестью (96,5 %) по сравнению с нутом (92,7 % и 91,7 %, соответственно). Кроме того, у гороха отмечено меньшее количество аномальных проростков (1,6 %) и загнивших семян (1,7 %) по сравнению с нутом (3,1 % и 5,1 % соответственно).

Полученные данные свидетельствуют о более высоком физиологическом потенциале семян гороха, что, вероятно, связано с большей ферментативной активностью зародышей и более интенсивным обменом веществ на ранних этапах прорастания.



а



б



в **г**

Рис.2 - Энергия прорастания *(а - нут, б - горох) и всхожесть семян (в - нут, г- горох)*

Выявленные различия между нутом и горохом подтверждают наличие тесной взаимосвязи между ферментативной активностью зародышей и посевными качествами семян. У гороха более высокая активность дегидрогеназ коррелирует с повышенной энергией прорастания и всхожестью, что свидетельствует о физиологической зрелости и высокой жизнеспособности семян. У нута, напротив, относительно низкий уровень ферментативной активности, что, вероятно, связано с особенностями строения зародыша и меньшей интенсивностью дыхательных процессов на ранних стадиях прорастания.

Таким образом, установлена прямая корреляция между ферментативной активностью и посевными качествами ($r = 0,84$, $p \leq 0,05$), что позволяет рассматривать тетразолиевый тест как экспресс-метод предварительной оценки жизнеспособности семян зернобобовых культур.

Полученные результаты подтверждают наличие прямой зависимости между активностью дегидрогеназ и посевными качествами семян. Установлено, что повышение ферментативной активности способствует увеличению энергии прорастания и лабораторной всхожести. Горох, характеризующийся наибольшей активностью дегидрогеназ (98,5 %), демонстрировал также высокие значения энергии прорастания (98,3 ± 0,4 %) и всхожести (97,8 ± 0,3 %). У нута, несмотря на более низкую активность ферментов (85,3 %), показатели всхожести оставались на удовлетворительном уровне (91,7 %), что может быть связано с особенностями использования резервных веществ эндосперма на ранних этапах прорастания.

Характер зависимости между активностью дегидрогеназ и энергией прорастания описывается линейным уравнением регрессии:

$$y = 12,45 + 0,86x (R^2 = 0,79) \qquad (1)$$

где y - энергия прорастания (%), x - активность дегидрогеназ (%).

Высокий коэффициент детерминации (R^2 = 0,79) и коэффициент корреляции ($r = 0,87$, $p \leq 0,05$) указывают на тесную связь между интенсивностью ферментативных процессов и физиологическим состоянием семян. Полученные результаты позволяют рассматривать активность дегидрогеназ как надёжный биохимический индикатор посевных качеств и физиологической зрелости зернобобовых культур.

Выводы. Установлены достоверные межвидовые различия в активности дыхательных ферментов: семена гороха характеризуются более высокой активностью дегидрогеназ, каталазы и пероксидазы по сравнению с нутом, что отражает интенсивность их метаболических процессов.

Определена высокая корреляционная зависимость ($r = 0,89$, $p \leq 0,05$) между интенсивностью окрашивания в тетразолиевом тесте и энергией прорастания семян, что подтверждает диагностическую значимость данного метода.

Все исследованные образцы нута и гороха продемонстрировали высокие посевные качества, соответствующие требованиям ГОСТ Р 52325-2005.

Разработана математическая модель прогнозирования всхожести на основе ферментативной активности: всхожесть = 0,95 × активность + 5,2 ($R^2 = 0,92$), которая позволяет оценивать потен-

циальную энергию прорастания семян с высокой степенью достоверности.

Результаты исследования подтверждают возможность применения тетразолиевого теста для экспресс-оценки физиологического состояния семян и рекомендуются к использованию в семеноводческих хозяйствах и на предприятиях по переработке зернобобовых культур.

Финансирования. *Данная работа была выполнена в рамках программы грантового финансирования молодых ученых «Жас ғалым» AP25796105 «Разработка технологии хлопьев из пророщенного зерна гороха и нута районированных в Казахстане» на 2025–2027 годы при поддержке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.*

Литература

1. Khattab R.Y., Arntfield S.D., Nyachoti C.M. Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments. Part 1: Protein quality evaluation // LWT - Food Science and Technology.-2009.-Vol.42(6).-P.1107-1112. DOI 10.1016/j.lwt.2009.02.008.

2. Zatybekov A., Yeshengaliyeva A., Anuarbek S., Kudaibergenov M., Turuspekov Y., Abugalieva S. Field Evaluation and Diversity of 238 Global Chickpea (Cicer arietinum L.) Genotypes Grown in South-East Kazakhstan//Fundamental and Experimental Biology.-2025.-Vol.3(119).- P.48-58. DOI 10.31489/2025feb3/48-58.

3. Xu, M., Rao, J., and Chen, B. (2020). Phenolic compounds in germinated cereal and pulse seeds: classification, transformation, and metabolic process //Crit. Rev. Food Sci. Nutr.-2020.-Vol.60 (5).-P 740-759. DOI 10.1080/10408398.2018.1550051.

4. Ding-Tao Wu, Wen-Xing Li. A Comprehensive Review of Pea (Pisum sativum L.): Chemical Composition, Processing, Health Benefits, and Food Applications// Foods.-2023.-Vol.12(13).- P.1-40. DOI 10.3390/foods12132527.

5. Wu Z., Song L., Feng S.,Liu Y.,He G.,YioeY.et al. Germination dramatically increases

isoflavonoid content and diversity in chickpea (Cicer arietinum L.)//Agricultural and Food. -2012.-Vol.60(35) - P.8606-8615. DOI 10.1021/jf3021514.

6. Soham Ray, Joshitha Vijayan, Ramani K Sarkar. Germination Stage Oxygen Deficiency (GSOD): An Emerging Stress in the Era of Changing Trends in Climate and Rice Cultivation Practice//Front. Plant Sci.-2016.-Vol.7:671 DOI 10.3389/fpls.2016.00671.

7. Zhang W., Zhang G., Liang W., Tian J., Sun S., et al. Structure, functional properties, and applications of foxtail millet prolamin: A review // Biomolecules.-2024.-Vol.14(8).-P.1-17 DOI 10.3390/biom14080913.

8. ГОСТ 13586.3-2015. Зерно. Правила приёмки и методы отбора проб. //Стандартинформ.- 2016.- Дата обращения: 15.09.2025 г.

9. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести//Стандартинформ.-2011.- Дата обращения: 15.09.2025 г.

10. ГОСТ Р 52325-2005. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия//Стандартинформ.-2006.ОКП 9710. - Дата обращения: 15.09.2025 г.

References

1. Khattab R.Y., Arntfield S.D., Nyachoti C.M. Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments. Part 1: Protein quality evaluation // LWT - Food Science and Technology.-2009.-Vol.42(6).-P.1107-1112. DOI 10.1016/j.lwt.2009.02.008.

2. Zatybekov A., Yeshengaliyeva A., Anuarbek S., Kudaibergenov M., Turuspekov Y., Abugalieva S. Field Evaluation and Diversity of 238 Global Chickpea (Cicer arietinum L.) Genotypes Grown in South-East Kazakhstan//Fundamental and Experimental Biology.-2025.-Vol.3(119).- P.48-58. DOI 10.31489/2025feb3/48-58.

3. Xu, M., Rao, J., and Chen, B. (2020). Phenolic compounds in germinated cereal and pulse seeds: classification, transformation, and metabolic process //Crit. Rev. Food Sci. Nutr.-2020.-Vol.60 (5).-P 740-759. DOI 10.1080/10408398.2018.1550051.

4. Ding-Tao Wu, Wen-Xing Li. A Comprehensive Review of Pea (Pisum sativum L.): Chemical Composition, Processing, Health Benefits, and Food Applications// Foods.-2023.-Vol.12(13).- P.1-40. DOI 10.3390/foods12132527.

5. Wu Z., Song L., Feng S.,Liu Y.,He G.,YioeY.et al. Germination dramatically increases

isoflavonoid content and diversity in chickpea (Cicer arietinum L.)//Agricultural and Food. -2012.-Vol.60(35) - P.8606-8615. DOI 10.1021/jf3021514.

6. Soham Ray, Joshitha Vijayan, Ramani K Sarkar. Germination Stage Oxygen Deficiency (GSOD): An Emerging Stress in the Era of Changing Trends in Climate and Rice Cultivation Practice//Front. Plant Sci.-2016.-Vol.7:671 DOI 10.3389/fpls.2016.00671.

7. Zhang W., Zhang G., Liang W., Tian J., Sun S., et al. Structure, functional properties, and applications of foxtail millet prolamin: A review // Biomolecules.-2024.-Vol.14(8).-P.1-17 DOI 10.3390/biom14080913

9. GOST 12038-84. Semena sel’ skohozjajstvennyh kul’ tur. Metody opredelenija vshozhesti// Standartinform.-2011.- Data obrashhenija: 15.09.2025 g. [in Russian]

10. GOST R 52325-2005. Semena sel’ skohozjajstvennyh rastenij. Sortovye i posevnye kachestva. Obshhie tehnicheskie uslovija//Standartinform.-2006.OKP 9710.- Data obrashhenija: 15.09.2025 g. [in Russian]

Сведения об авторах

Жонысова М.У.- Алматинский Технологический университет, докторант, Алматы, Казахстан,e-mail: mira_86u@mail.ru;

Онгарбаева Н.- д.т.н., профессор, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail:o.nurlaim@mail.ru;

Құлжанова Б.О.- PhD, ТОО «Научно-Образовательный центр «Qazyna», Алматы, Казахстан, e-mail: botagoz-89@mail.ru;

Байғайыпқызы М.- докторант, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail: makpal_atyhanova@mail.ru.

Information about the authors

Zhonyssova M.U.- Almaty Technological University, doctoral student, Almaty, Kazakhstan, e-mail: mira_86u@mail.ru;

Ongarbayeva N.- doctor of technical sciences, professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: e-mail:o.nurlaim@mail.ru;

Kulzhanova B.O.- Phd,LLP «Scientific and Educational Center «Qazyna», Almaty Kazakhstan e-mail: botagoz-89@mail.ru;

Baigaiypkyzy M.- doctoral student, Almaty, Kazakhstan, Almaty Technological University, Kazakhstan, e-mail: e-mail: makpal_atyhanova@mail.ru.

ҒТАМР 65.65.03 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1210**

ТАҒАМДЫҚ ЭМУЛЬСИЯ ӨНІМДЕРІН ЖАСАУ КЕЗІНДЕ МАҚСАРЫ МАЙЫН ҚОЛДАНУ БОЛАШАҒЫ

[1]М.Ж. Султанова, [1]Ф.З. Сеитова, [2]Н. Акжанов

[1]Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]«Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ҒЗИ» ЖШС АФ, Астана, Қазақстан,

Корреспондент-автор: sultanova.2012@mail.ru

Өсімдік майларына негізделген функционалды тағам өнімдерін әзірлеу қазіргі заманғы тағам ғылымы мен технологиясының перспективалы бағыттарының бірі болып табылады. Бұл жұмыста полиқанықпаған май қышқылдарының, токоферолдардың және антиоксидантты қосылыстардың жоғары құрамымен сипатталатын мақсары майы (Carthamus tinctorius L.) екі эмульсиялық өнімді: жоғары калориялы майонезді және сарымсақ пен зімбір тұздығын жасауда негізгі май негізі ретінде қолданылады.

Тәжірибелік партиялар зертханалық жағдайда стандартты араластырғыш-гомогенизациялық жабдықты қолдана отырып дайындалды. Рецептуралар май, ақуыз және көмірсу компоненттерінің оңтайлы арақатынасын ескере отырып құрылды, сонымен қатар өнімдердің тағамдық және биологиялық құндылығын арттыруға мүмкіндік беретін функционалды қасиеттері бар табиғи қоспаларды (сарымсақ, имбирь, аскорбин қышқылы) қамтыды. Әрбір нұсқа үшін эмульсиялардың тұрақтылығын және сақтау мерзімін ұзартуды қамтамасыз ететін технологиялық схема жасалды.

Физика-химиялық, реологиялық және органолептикалық сипаттамаларға баға берілді. Реологиялық зерттеулер өнімдердің құрылымдық қасиеттеріндегі айырмашылықтарды анықтады: майонез жоғары тұтқырлығы бар (2000-5000 мПа•с) және айқын тиксотропиясы бар жалған пластикалық ағын түрін көрсетті, ал тұздық тұтқыр пластикалық ағынмен және орташа тұтқырлықпен (800-1500 мПа•с) сипатталды. Физика-химиялық талдау май фазасының тұрақтылығын растайтын қышқыл және пероксид сандарының рұқсат етілген мәндерін көрсетті.20 маманнан тұратын сараптамалық комиссия жүргізген дәмдік бағалау нәтижелері бойынша екі өнім де ”өте жақсы” санатына ие болды, сонымен қатар ең көп мақұлдауға зімбір мен сарымсақ қосылған тұздық ие болды.

Осылайша, эмульсиялық өнімдерді әзірлеу кезінде мақсары майын пайдалану жоғары биологиялық құндылығы, тұрақты сапалық сипаттамалары және жоғары тұтынушылық тартымдылығы бар функционалды тағам өнімдерін жасауға мүмкіндік береді, бұл оларды өнеркәсіптік енгізудің орындылығын растайды.

Түйін сөздер: мақсары майы, функционалды тамақ өнімдері, майонез, тұздық, эмульсия жүйелері, физика-химиялық көрсеткіштер, реологиялық қасиеттер, органолептикалық бағалау

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ САФЛОРОВОГО МАСЛА ПРИ СОЗДАНИИ ПИЩЕВЫХ ЭМУЛЬСИОННЫХ ПРОДУКТОВ

[1]М.Ж. Султанова, [1]Ф.З. Сеитова, [2]Н. Акжанов

[1]Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан,
[2]АФ ТОО «Казахский НИИ перерабатывающей и пищевой промышленности», Астана, Казахстан,
e-mail: sultanova.2012@mail.ru

Разработка функциональных пищевых продуктов на основе растительных масел является одним из перспективных направлений современной пищевой науки и технологии. В данной работе сафлоровое масло (Carthamus tinctorius L.), отличающееся высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот, токоферолов и антиоксидантных соединений, использовано в качестве основной

жировой базы при создании двух эмульсионных продуктов: высококалорийного майонеза и соуса с чесноком и имбирём.

Опытные партии были изготовлены в лабораторных условиях с применением стандартного смесительно-гомогенизирующего оборудования. Рецептуры формировались с учётом оптимального соотношения жировых, белковых и углеводных компонентов, а также включали натуральные добавки с функциональными свойствами (чеснок, имбирь, аскорбиновая кислота), что позволило повысить пищевую и биологическую ценность продуктов. Для каждого варианта была разработана технологическая схема, обеспечивающая стабильность эмульсий и увеличение сроков хранения.

Проведена оценка физико-химических, реологических и органолептических характеристик. Реологические исследования выявили различия в структурном поведении продуктов: майонез демонстрировал псевдопластический тип течения с высокой вязкостью (2000–5000 мПа·с) и выраженной тиксотропией, в то время как соус характеризовался вязко-пластическим течением и умеренной вязкостью (800-1500 мПа·с). Физико-химический анализ показал допустимые значения кислотного и перекисного чисел, подтверждающие стабильность жировой фазы. По результатам дегустационной оценки, проведённой экспертной комиссией из 20 специалистов, оба продукта получили категорию «отлично», при этом наибольшее одобрение получил соус с имбирём и чесноком.

Таким образом, использование сафлорова масла при разработке эмульсионных продуктов позволяет создавать функциональные продукты питания с высокой биологической ценностью, стабильными качественными характеристиками и высокой потребительской привлекательностью, что подтверждает целесообразность их промышленного внедрения.

Ключевые слова: сафлоровое масло, функциональные продукты питания, майонез, соус, эмульсионные системы, физико-химические показатели, реологические свойства, органолептическая оценка.

PROSPECTS FOR THE USE OF SAFFLOWER OIL IN THE CREATION OF FOOD EMULSION PRODUCTS

[1]M.Zh. Sultanova✉, [1]F.Z. Seitova, [2]N. Akzhanov

[1]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan,
[2]«Kazakh research Institute of processing and food industry» LLP AF, Astana, Kazakhstan,
e-mail: sultanova.2012@mail.ru

The development of functional food products based on vegetable oils is one of the promising areas of modern food science and technology. In this work, safflower oil (Carthamus tinctorius L.), characterized by a high content of polyunsaturated fatty acids, tocopherols and antioxidant compounds, was used as the main fat base in the creation of two emulsion products: high-calorie mayonnaise and sauce with garlic and ginger.

The experimental batches were manufactured in the laboratory using standard mixing and homogenizing equipment. The formulations were formed taking into account the optimal ratio of fat, protein and carbohydrate components, and also included natural additives with functional properties (garlic, ginger, ascorbic acid), which increased the nutritional and biological value of the products. A technological scheme has been developed for each variant to ensure the stability of emulsions and increase shelf life.

The physico-chemical, rheological, and organoleptic characteristics were evaluated. Rheological studies revealed differences in the structural behavior of the products: mayonnaise demonstrated a pseudoplastic flow type with high viscosity (2000-5000 MPa•s) and pronounced thixotropy, while the sauce was characterized by a viscoplastic flow and moderate viscosity (800-1500 MPa•s). Physico-chemical analysis showed acceptable values of acid and peroxide numbers, confirming the stability of the fat phase. According to the results of the tasting evaluation conducted by an expert commission of 20 specialists, both

products received the ”excellent” category, while the sauce with ginger and garlic received the most approval.

Thus, the use of safflower oil in the development of emulsion products makes it possible to create functional food products with high biological value, stable quality characteristics and high consumer attractiveness, which confirms the feasibility of their industrial implementation.

Keywords: safflower oil, functional food products, mayonnaise, sauce, emulsion systems, physicochemical parameters, rheological properties, organoleptic assessment.

Кіріспе. Біріккен Ұлттар Ұйымының функционалдық тамақтануына, салауатты өмір салтына және орнықты даму мақсаттарын (ТДМ) іске асыруға қызығушылықтың артуы жағдайында жергілікті өсімдік шикізаты негізінде биологиялық құндылығы жоғары өнімдерді әзірлеу тағам өнеркәсібін ғылыми зерттеу мен инновациялық дамытудың басым бағыттарының біріне айналуда. Қазіргі уақытта маңызды ғылыми және практикалық мәселе айқын функционалдық қасиеттері, жоғары биожетімділігі және физиологиялық белсенділігі бар отандық шикізатты іздеу және пайдалану болып табылады, бұл импортқа тәуелділікті төмендетуге және елдің азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Солардың ішінде мақсары майы (*Carthamus tinctorius L.*) тағам өнеркәсібі мен нутрицевтикалық өнімдер үшін перспективалы шикізат ретінде ерекше назар аудартады.

Мақсары майының май қышқылдық құрамы мен токоферолдар профилі оның тағамдық және биологиялық құндылығын анықтайтын негізгі факторлар болып табылады. Matthäus және әріптестері (2015) жүргізген зерттеулерде мақсары майының құрамында линол (C18:2) және олеин (C18:1) қышқылдарының айтарлықтай үлесі анықталған, бұл оны жүрек-қан тамырлары ауруларының алдын алу тұрғысынан құнды май көздерінің қатарына қосады [1].2025 жылы Kurt және т.б.87 генотип бойынша жүргізген салыстырмалы зерттеуінде май үлесінің 18,4–36,9% және линол қышқылының үлесінің 37,7–77,7% аралығында өзгеретінін көрсетті [2]. Бұл деректер генетикалық әртүрліліктің жоғары екенін және селекциялық бағдарламаларда маңызды рөл атқаратынын дәлелдейді.

Мақсары майының құрамдық және функционалдық сипаттамаларын жүйелі түрде талдаған Khalid және т.б. (2017) еңбегінде оның май қышқылдарының ерекше профилі, токоферолдар мен фитостеролдардың болуы оны тағамдық және нутрицевтикалық өнімдерге арналған биоактивті ингредиент ретінде қолданудың үлкен әлеуетін көрсетеді [3]. Jaradat және әріптестері (2024) мақсары майының фитохимиялық құрамын және антидиабеттік, майға қарсы, антиоксиданттық және цитоуыттылық қасиеттерін жан-жақты зерттеп, оның белсенді биологиялық әсерлерін көрсетті [4].

Мақсары майының сапасы мен фармакопеялық сәйкестігіне қатысты зерттеулер (Orhan et al., 2022) оның салмақты бақылау әлеуетін және еуропалық стандарттарға сәйкестігін растады [5]. Әртүрлі экстракция әдістерін салыстырған зерттеуде (Hou et al., 2024) суық престеу, ыстық престеу, Сокслет және субкритикалық сұйықтық әдістері бойынша алынған майлардың белсенді қосылыстары мен сапалық көрсеткіштерінің айтарлықтай айырмашылықтары анықталған [6].

Сондай-ақ Liu және әріптестері (2016) мақсары майының май қышқылдық құрамының генетикалық ерекшеліктерін қарастырып, оның май сапасы мен бағытталған селекциядағы маңыздылығын атап өтті [7]. Sajid және т.б. (2024) тікенді және тікенсіз генотиптерді салыстырмалы бағалау арқылы май шығымы мен май қышқылдық құрамы бойынша айырмашылықтарды көрсетті [8].

Мақсары майының антиоксиданттық қасиеттері де кеңінен зерттелуде. Bacchetti және т.б. (2020) антиоксиданттық және прооксиданттық белсенділігін зерттеді [9], ал Mandade және т.б. (2011) жүргізген тәжірибелер радикалдарды залалсыздандыру белсенділігінің жоғары екенін дәлелдеді [10].

Tultabaev M. және әріптестерінің зерттеуі бойынша, мақсары майының құрамы мен өнімділігі температура, ылғалдылық пен күн ұзақтығына тәуелді болып, өсудің, гүлденудің және пісіп-жетілу кезеңінің барысына әсер етеді [11]. Айбульдинов Е. К. және әріптестерінің мәліметтері бойынша, «салқын» сығымдау әдісі майдың табиғи пайдалы қасиеттерін сақтап шығару мүмкіндігін береді, ал шикізаттың майлылығы мен дисперсиясы пресстің жұмысын анықтайды [12]. Mussynov K. M. және әріптестерінің зерттеулерінде Minimal I топырақ өңдеу технологиясы сафлордың өнімділігін арттырып, Center 70 сұрыпы ең жоғары экономикалық тиімділікті көрсетті [13].

Жоғарыда аталған зерттеулер мақсары майының тағамдық, нутрицевтикалық және биологиялық құндылығын кешенді түрде сипаттайды, мұнда зерттеу жаңалығы оның функционалды ингредиенттерді әзірлеу, жергілікті шикізатты тиімді пайдалану және тұрақты өндіріс жүйелерін қалыптастыру салаларында ғылыми және өндірістік маңызын айқындауда көрініс табады.

Материалдар мен әдістер. Әзірленген өнімдердің тәжірибелік партиясы зертханалық жағдайда стандартты араластыру-гомогенизациялау жабдығы пайдаланылды. Зерттеу нысандары ретінде мақсары майы негізінде жасалған майонез бен тұздық алынды.

Рецепттерді қалыптастыру және қоспаларды таңдау соңғы өнімнің функционалдық қасиеттерін қамтамасыз етуді ескере отырып жүргізілді. Гомогенизация процесі эмульсиялардың құрылымдық-текстуралық сипаттамаларын жақсарту, май фазасының біркелкі дисперсиясын қамтамасыз ету және өнімдердің тұрақтылығын арттыру үшін қолданылды. Гомогенизация зертханалық гомогенизаторда ~9000 айн/мин айналу жылдамдығында, 5-7 минут ішінде 25 ± 2 °C температурада жүргізілді.

Зерттеу әдістері.

Зерттеу мақсаттарына жету үшін техникалық құжаттамамен реттелетін стандартты әдістер кешені қолданылды:

Майдың қышқылдық және пероксидтік санын анықтау-МЕМСТ 31762-2012 ” Тағам өнімдері. Майдың қышқылдық және асқын тотығын анықтау әдістері”.

Йод санын анықтау- МЕМСТ ISO 3961-2020 ”Жануарлар мен өсімдік тектес майлар мен майлар. Йод санын анықтау ”.

Титрленетін қышқылдық- МЕМСТ 25555.0-82 ”Тағам өнімдері. Титрленетін қышқылдықты анықтау әдістері”.

Органолептикалық көрсеткіштер (дәмі, иісі, консистенциясы, түсі) - 5 балдық шкаланы қолдана отырып сенсорлық талдау әдісі бойынша (МЕМСТ 31986-2012).

pH анықтау — pH-метрді қолдана отырып потенциометриялық әдіспен.

Статистикалық өңдеу

Барлық өлшеулер үш рет қайталанды. Нәтижелер орташа мәндер және стандартты ауытқулар түрінде ұсынылған. Бақылау мен сынақ үлгісі арасындағы айырмашылықтардың дұрыстығы $p < 0,05$ маңыздылық деңгейінде бір факторлы дисперсиялық талдау әдісімен бағаланды. Зерттеу мәндері - дисперсиялық талдау (ANOVA) негізінде жүргізілді.

Нәтижелер және талқылау. Жұмыс барысында мақсары майына негізінде тағам өнімдерінің екі түрі әзірленді және технологиялық негізделді: жоғары калориялы майонез және зімбір мен сарымсақ қосылған тұздық. Рецептуралар эмульсиялардың тұрақтылығын, органолептикалық сипаттамаларын сақтауды және биологиялық құндылығын арттыруды қамтамасыз ететін компоненттердің оңтайлы арақатынасын ескере отырып құрастырылды.

Мақсары майына негізделген майонез бен тұздықты өндірудің технологиялық процесі іс жүзінде бір-бірінде ерімейтін компоненттерден (мысалы, су мен май) біртекті және тұрақты жүйені алуға мүмкіндік беретін оңтайлы жағдайлар жасауды көздейді. Жоғарыда аталған өнімдерді әзірлеу кезінде құрғақ компоненттердің концентрациясы, құрғақ компоненттердің ісіну және пастерлеу шарттары, майдың берілу жылдамдығы, механикалық әсердің қарқындылығы сияқты факторларды ескеру қажет.

Мақсары майына негізделген функционалды жоғары калориялы майонезді әзірлеу үшін эмульсиялық өнімдерге қойылатын талаптарды ескере отырып рецептура жасалды: май фазасының тұрақтылығын қамтамасыз ету, органолептикалық сипаттамаларды сақтау және биологиялық құндылығын арттыру. Тұрақты эмульсияны қалыптастыруға және сақтау мерзімін ұзартуға ықпал ететін өсімдік майының, ақуыз-көмірсу компоненттерінің және тағамдық қоспалардың арақатынасын таңдауға ерекше назар аударылды. 1-кестеде жоғары калориялы майонездің рецептурасы келтірілген.

1 - кесте. Жоғары калориялы майонездің рецептурасы

№	**Шикізат атауы**	**Компоненттердің массалық үлесі, %**
1.	Рафиринирленген мақсары майы	50,00
2.	Соя талшығы	2,00
3.	Су	30,75
4.	Құрғақ майсыз сүт	6,50
5.	Қыша ұнтағы	0,50-0,75
6.	Натрий бикарбонаты	0,05
7.	Қант (құм)	1,50
8.	Ас тұзы	1,10
9.	Аскорбин қышқылы 10%	0,45

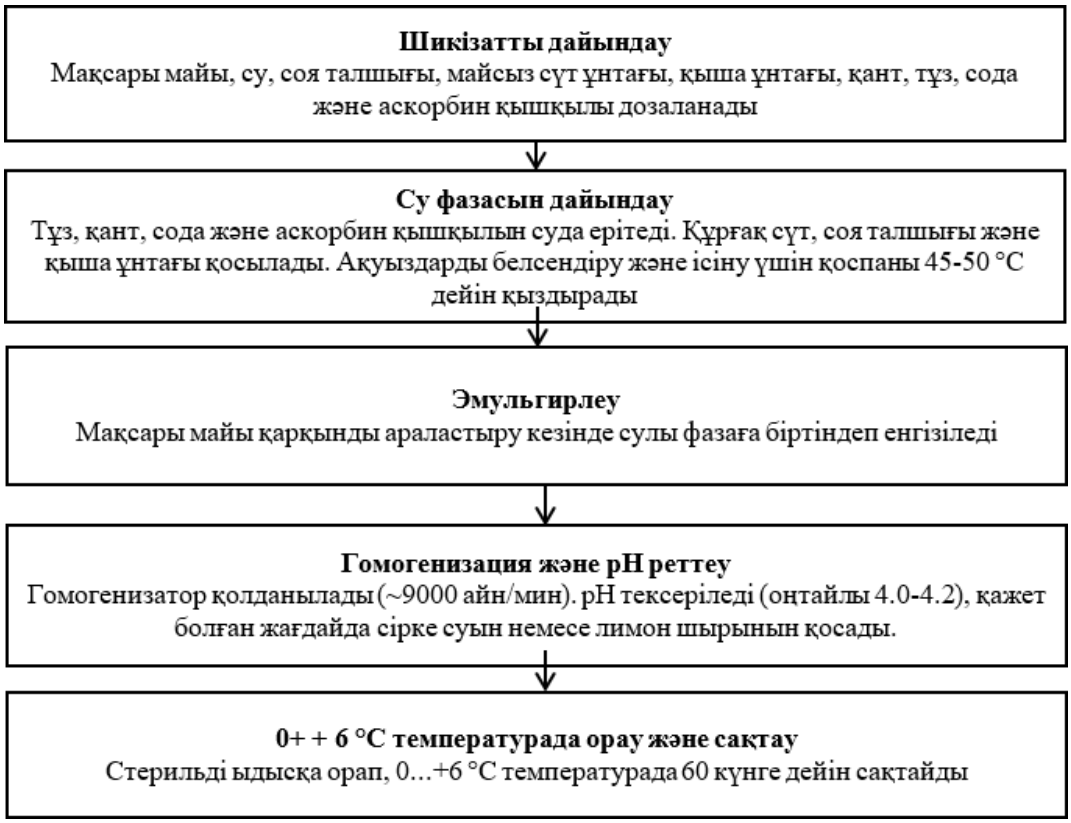
2 - кесте. Төмен калориялы тұздықтың рецептурасы

№	**Шикізат атауы**	**Компоненттердің массалық үлесі, %**
1.	Рафиринирленген мақсары майы	15,00
2.	Зімбір ұнтағы	2,00
3.	Сүт	30,75
4.	Су	26,50
5.	Бидай ұны (1 сорт)	15,00
6.	Натрий бикарбонаты	0,05
7.	Қант (құм)	1,50
8.	Ас тұзы	1,10
9.	Сарымсақ	0,45

Кестеден көріп отырғандай, майонездің негізі ретінде май фазасы мен функционалды компоненттердің (линол қышқылы, токоферолдар) негізгі көзі болып табылатын мақсары майы (50%) пайдаланылды. Эмульсияның тұрақтылығын арттыру мақсатында рецептураға ақуыз және көмірсу компоненттері енгізілді: соя талшығы (2,0%) және майсыз сүт ұнтағы (6,5%). Қыша ұнтағы (0,50-0,75%) өнімнің тұтқырлығы мен консистенциясын жақсартатын табиғи эмульгатор ретінде қызмет етеді. Өнімнің тұтқырлығы 120-1500 мПа·с аралығында, ал

эмульсияның тұрақтылық индексі 85-90% деңгейінде бағаланды. Минералды және дәмдік қоспалар (тұз, қант, сода) оңтайлы органолептикалық көрсеткіштерді қамтамасыз етеді, ал аскорбин қышқылы май фазасындағы тотығу процестерін тежейтін антиоксидант ретінде әрекет етеді; антиоксиданттық белсенділік DPPH әдісі бойынша 65-70% деңгейінде анықталды. Осылайша, ұсынылған рецептура жоғары биологиялық құндылықты сақтай отырып, функционалды тағамға қойылатын талаптарға сәйкес келеді.

Мақсары майын қолданатын тұздық рецептурасы майы аз өнімді әзірлеу мақсатында қалыптастырылып, ащы дәмі мен айқын функционалды қасиеттері бар өнім алуға бағытталған. Рецептурада тұздықтың тұтқырлығы мен тұрақтылығына қойылатын талаптар, сондай-ақ антиоксиданттық (DPPH 60-65%) және микробқа қарсы белсенділігі бар өсімдік қоспаларын (зімбір, сарымсақ) енгізу мүмкіндігі ескерілді. Эмульсияның тұрақтылық индексі 80–85% деңгейінде бағаланды.



1 - сурет. Мақсары майы негізінде майонез өндіру технологиясы

2-кестеден көрініп тұрғандай, рецептураның негізін сүтті-астық базасы құрайды (сүт - 30,75% және бидай ұны-15%), ол қажетті тұтқырпластикалық құрылымды жұмсақ дәмді қамтамасыз етеді. Май фазасы полиқанықпаған май қышқылдары мен токоферолдардың көзі болып табылатын мақсары майымен (15%) ұсынылған. Ащы қоспаларды енгізу (зімбір - 2% және сарымсақ - 0,45%) өнімге функционалды қасиеттер береді: антиоксидантты, иммуностимуляторлы және хош иісті. Дәм мен консистенцияны реттегіштер (тұз, қант, сода) сақтау кезінде өнімнің үйлесімді дәмдік тепе-теңдігі мен тұрақтылығына қол жеткізуге мүмкіндік береді.

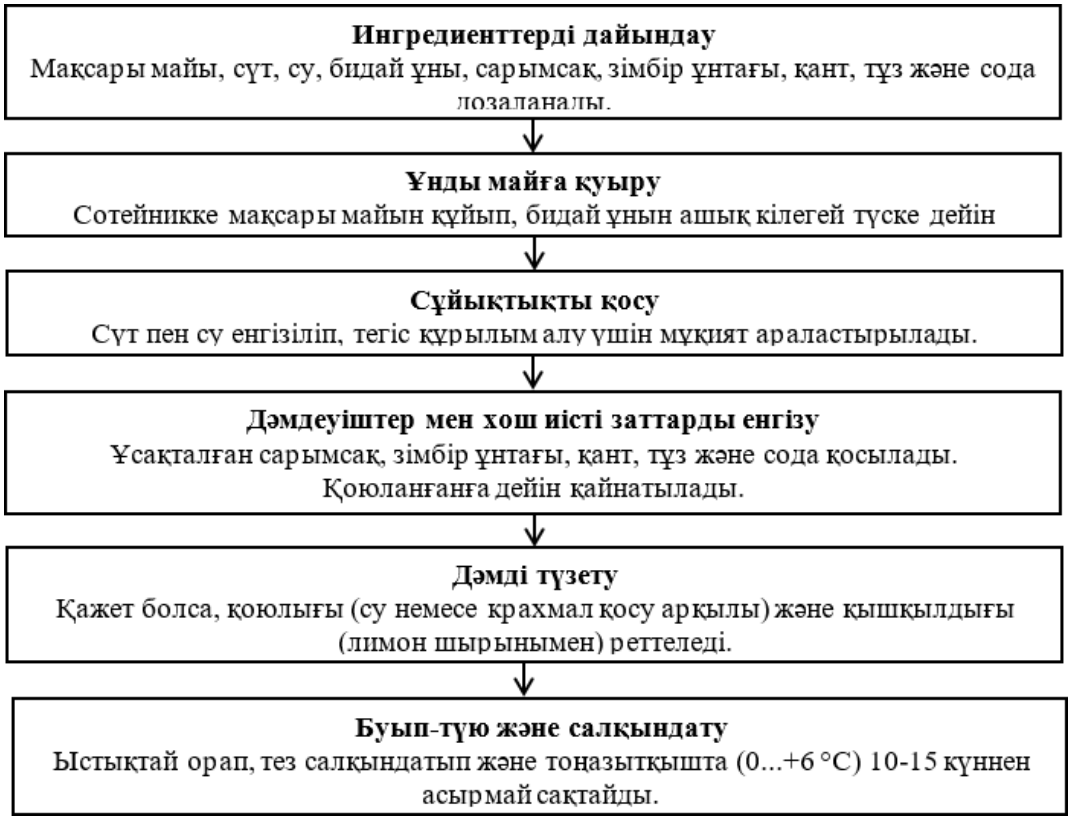
Эмульсияның тұрақтылығын қамтамасыз ету және жоғары органолептикалық сипаттамаларды сақтау үшін мақсары майы қосылған майонез өндірісінің технологиялық процесі жасалды. Сызбанұсқада негізгі кезеңдерді көрсетеді - шикізатты дайындаудан бастап дайын өнімді буып-

түюге дейін, соның ішінде майонез эмульсиясының біртектілігі мен тұрақтылығын қамтамасыз ететін эмульсия және гомогенизация процестері.1 суретте мақсары майы қосылған майонез өндірісінің сызбанұсқасы келтірілген.

Процесс мақсары майы, су, соя талшығы, құрғақ сүт және дәмдеуіштерді қоса алғанда, ингредиенттерді дайындаудан басталады. Содан кейін су фазасы дайындалады: құрғақ компоненттер суда ериді және 45-50 °С дейін қызады. Осыдан кейін гомогенизатор көмегімен майды біртіндеп эмульсиялау жүзеге асырылады. Дайын эмульсия қышқылдығы мен құрылымы бойынша түзетіледі, стерильді ыдысқа салынып, 0...+6 °С температурада 60 тәулікке дейін сақталады (2-сурет).



2 - сурет. Мақсары майы негізінде жасалған майонездің сынақ үлгілері



3 - сурет. Мақсары майы негізінде зімбір тұздығын өндіру технологиясы

Мақсары майы негізінде зімбір тұздығын алу үшін тұрақты құрылым мен айқын органолептикалық қасиеттердің қалыптасуын қамтамасыз ететін технологиялық процесс жасалды. Сызбанұсқада өндірістің негізгі кезеңдерін көрсетеді — ингредиенттерді дайындаудан және ұнды қопсытудан бастап дәмдеуіштерді енгізуге және дәмді түзетуге дейін, бұл өнімге тән ащы хош иісі мен функционалды құндылығы бар өнімді алуға мүмкіндік береді (3-сурет).

Процесс ингредиенттерді дайындаудан және бидай ұнын мақсары майында ашық кремді түске дейін қуырудан басталады. Содан кейін сүт пен су енгізіліп, қоспасы мұқият араластырылады. Осыдан кейін сарымсақ, зімбір, тұз, қант және сода қосылады, қоюланғанға дейін қайнатылады. Соңында дәмі мен консистенциясы реттеледі, өнім ыстықтай оралады, салқындатылады және 0. ..+6 °С температурада 15 күнге дейін сақталады.

Мақсары майы негізінде майонез мен тұздықты өндіру процестерінің рецептуралары мен технологиялық негіздемесін әзірлегеннен кейін келесі қадам олардың физика-химиялық және құрылымдық-механикалық қасиеттерін бағалау болды. Реологиялық көрсеткіштерге ерекше назар аударылды, өйткені олар консистенцияны, құрылымды, эмульсияның тұрақтылығын және аспаздық тәжірибеде өнімнің ыңғайлылығын анықтайды. Зерттеу нәтижелері 3-кестеде келтірілген.

3 - кесте. Мақсары майы негізінде майонез мен тұздықтың реологиялық сипаттамалары

Көрсеткіш	**Майонез (жоғары калориялы)**	**Зімбір қосылған тұздық(төмен калориялы)**
Ағын түрі	Псевдопластикалық	Тұтқыр-пластикалық
Тұтқырлық (мПа•с, 20 °С температурада)	2000–5000	800–1500
Жылжу жағдайындағы сипаты	Ығысу тұтқырлығының төмендеуі	Өтімділік шегімен
Тиксотропия	Айқын	Әлсіз айқындалған
Құрылымның ерекшеліктері	Қою, пластикалық, тұрақты эмульсия	Тегіс, орташа сұйық масса

3-кестеден майонездің тұтқырлықтың жоғары деңгейімен (2000-5000 мПа•с) және айқын тиксотропиямен сипатталатынын көруге болады, бұл оның тұрақты қою консистенциясы мен қолдануға ыңғайлылығын қамтамасыз етеді. Зімбір тұздығы тұтқыр пластикалық сипатпен және ұнды құрылымдаушы ретінде пайдалану арқылы пайда болатын орташа сұйықтықпен (800-1500 мПа•с) ерекшеленеді.

Осылайша, ұсынылған реологиялық көрсеткіштер мақсары майымен байытылған эмульсиялық өнімдердің функционалдығын, тұрақтылығын және жоғары сапасын растайды. Мақсары майына негізінде әзірленген функционалдық өнімдердің сапасы мен тұрақтылығын бағалау үшін негізгі физика-химиялық көрсеткіштер зерттелді: майдың қышқылдық және пероксидтік саны, йод саны, сондай-ақ титрленетін қышқылдық. Нәтижелер 4-кестеде келтірілген.

4-кестеден майоездегі майдың қышқылдық мөлшері 0,26-дан 0,35 мг КОН/кг-ға дейін өскенін көруге болады, бұл гидролизге бейім мақсары майын қолданумен байланысты болуы мүмкін. Тұздықта, керісінше, сынақ үлгідегі қышқыл санының төмендеуі байқалады (0,44-тен 0,31 мг КОН/кг-ға дейін), бұл мақсары майын ен-

гізу кезінде май фазасының тұрақтылығын көрсетеді. Пероксид саны майлардың бастапқы тотығу дәрежесін көрсетеді. Жоғары мәндер тотығу процестерінің басталуын көрсетуі мүмкін: майонезде пероксид саны сынақ үлгісінде 2,97-ден 3,81 моль/кг-ға дейін өсті, бұл мақсары майын қосқанда май фазасының тотығуға сезімталдығын көрсетеді. Зімбір тұздығында пероксидтің шамалы өсуі байқалады (2,01-ден 2,15 моль/кг-ға дейін), бұл қолайлы өзгеріс деп санауға болады. Йод саны май қышқылдарының қанықпау дәрежесін көрсетеді. Жоғары мәндер полиқанықпаған қышқылдарға бай майларға тән: майонездің сынақ үлгісінде йод санының төмендеуі байқалады (103,09-дан 95,41 г I_2/100 г дейін), бұл қанықпаған май қышқылдарының тотығу процестерінің басталуымен байланысты болуы мүмкін. Тұздықта, керісінше, йод саны 88,75-тен 98,06-ға дейін артады, бұл линол қышқылы жоғары мақсары майының болуын көрсетеді. Титрленетін қышқылдық өнімнің Сулы фазасындағы қышқылдардың жалпы құрамын көрсетеді: майонезде қышқылдық 1,08-ден 0,84 °Т-қа дейін төмендейді, бұл рецептураны өзгерту арқылы қышқылдықтың төмендеуін көрсетуі мүмкін. Сондай-ақ, тұздықта өнімнің жұмсақ дәмі мен тұрақтылығының жоғарылауына ықпал ететін (1,47-ден 1,14 °Т-қа дейін) төмендеу байқалады.

4 - кесте. Мақсары майы негізінде әзірленген функционалдық тағам өнімдерінің физика-химиялық құрамы

Көрсеткіштердің атауы, өлшем бірліктері	Майонез		Тұздық	
	бақылау	сынақ үлгісі	бақылау	сынақ үлгісі
Майдың қышқыл саны,мг КОН / кг	0,26±0,002	0,35±0,27	0,44±0,004	0,31±0,002
Майдың асқын тотығы, моль / кг	2,97±0,02	3,81±0,03	2,01±0,01	2,15±0,01
Йод саны, г / I2 / 100г	103,09±1,21	95,41±1,01	88,75±0,92	98,06±0,86
Титрленетін қышқылдық, °Т	1,08±0,02	0,84±0,01	1,47±0,02	1,14±0,01

Әзірленген функционалдық өнімдердің - мақсары майы негізіндегі майонез бен тұздықтың аспаздық және тұтынушылық артықшылықтарын айқындау үшін ”Қазақ қайта өңдеу және тамақ өнеркәсібі ғылыми-зерттеу институты” ЖШС Астана филиалының зертханасы (ҚАЗҚӨТӨҒЗИ ЖШС) жағдайында сараптамалық дәм тату өткізілді.

Дәм татуға тиісті құзыреттіліктері мен сенсорлық сезімталдығы бар институттың 20 қызметкері қатысты. Әрбір үлгі төрт критерий бойынша бағаланды: иіс, дәм, консистенция және түс. Әрбір белгі бойынша 1-ден 5 балға дейінгі диапазонда баға қойылды, бұл ретте сол немесе өзге бағаны берген сарапшылардың саны ескерілді (5 және 6-кесте).

Дәм тату нәтижелері барлық әзірленген өнімдердің жоғары тұтынушылық тартымдылығын көрсетті. Жоғары калориялы майонез ”өте жақсы” санатына жатқызылды, 90 ұпай жинады, бұл органолептикалық қасиеттердің үйлесімділігін көрсетеді, бірақ нақтылау мүмкіндігі бар, әсіресе ”консистенция”параметрі бойынша.

Ғылыми зерттеулер көрсеткендей, мақсары майынан дайындалған майонез және соустар дәстүрлі өсімдік майларына, мысалы, күнбағыс немесе жүгері майларына қарағанда жоғары тағамдық және биологиялық құндылыққа ие; күнбағыс майы көбінесе транс-май қышқылдарын қамтиды, бұл жүрек-тамыр жүйесіне зиян келтіруі және метаболизмді бұзуы мүмкін, ал мақсары майы транс-май қышқылдарынан таза, омега-6 полиқанықпаған май қышқылдары, антиоксиданттар және биологиялық белсенді қосылыстарға бай болып, жүрек-тамыр жүйесін қорғауға, жалпы денсаулыққа және функционалды тағамдық өнімдерде табиғи пайдалы қасиеттерін сақтауға мүмкіндік береді.

5 - кесте. Жоғары калориялы майонездің дәмін тату нәтижелері (мақсары майы негізінде)

№	**Белгі**	**Нәтиженің сипаттамасы**	**Ұпайлар**
1	Иісі	Майонезге тән, орташа айқын	5×8
2	Дәмі	Үйлесімді, жағымды дәмі бар	5×7
3	Консистенциясы	Біртекті, қою, эмульсияланған	4×4
4	Түсі	Ашық сары, біркелкі, өнімге тән	4×3
Барлығы:			90

6 - кесте. Төмен калориялы тұздықтың дәмін тату нәтижелері (мақсары майы негізінде)

№	**Белгі**	**Нәтиженің сипаттамасы**	**Ұпайлар**
1	Иісі	Сарымсақ пен зімбір ноталары бар ащы, жақсы анықталған	5×10
2	Дәмі	Жарқын, өткір-ащы, сәл тәтті дәмі бар	5×7
3	Консистенциясы	Орташа тұтқыр, біркелкі	4×3
4	Түсі	Кремді реңктері бар ашық қоңыр, біркелкі	4×2
Барлығы:			93

Осылайша, органолептикалық бағалау мақсары майына негізделген жаңа функционалды тағам өнімдерін әзірлеудің сәттілігін растайды және оларды өнеркәсіптік өндіріске одан әрі енгізуді негіздейді.

”Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсібі ғылыми-зерттеу институты” ЖШС-нің 20 маманы арасында функционалдық тұздықтардың үш үлгісін - жоғары калориялы майонезді, төмен калориялы тұздықты сенсорлық бағалау өнімнің тұтынушылық сапасын объективті анықтауға мүмкіндік берді.

Ұпайлар жиынтығы бойынша: Майонез 90 ұпай жинады, бұл ”өте жақсы” санатына сәйкес келеді; Тұздық-93 ұпай (”өте жақсы”).

Дәм татушылардың ең көп мақұлдауына төмен калориялы тұздық ие болды, ол үйлесімді дәмге, біркелкі консистенцияға және сарымсақ пен зімбірдің теңдестірілген дәміне байланысты. Өнім органолептикалық экспрессивті және бәсекеге қабілетті деп бағаланады. Дәм татудың жалпы нәтижелері барлық үш үлгінің жоғары органолептикалық қолайлылығын көрсетеді, бұл оларды тұтынушылардың заманауи талаптарына сәйкес келетін функционалды тұздықтар ретінде нарыққа шығарудың орындылығын растайды.

Қорытынды. Зерттеулер нәтижесінде мақсары майына негізделген функционалды тағамның екі түрі - жоғары калориялы майонез және зімбір мен сарымсақ тұздығы әзірленді және технологиялық негізделген. Рецептура компоненттерін таңдау және оңтайлы технологиялық режимдерді қолдану тұрақтылық пен органолептикалық тартымдылықтың жоғары көрсеткіштері бар тұрақты эмульсиялық жүйелерді қалыптастыруға мүмкіндік берді.

Реологиялық зерттеулер өнімнің құрылымдық-механикалық сипатындағы айырмашылықтарды көрсетті: майонез жоғары тұтқырлықпен, ағынның псевдопластикалық түрімен және күшті тиксотропиямен сипатталды, бұл тығыз консистенция мен қолданудың қарапайымдылығын қамтамасыз етті; тұздықта тұтқыр пла-

стикалық ағын және орташа сұйықтық болды, бұл теңдестірілген құрылым мен жұмсақ дәмді қалыптастырады. Физика-химиялық талдау қышқыл мен пероксидтің рұқсат етілген мәндерін, сондай-ақ май қышқылдарының қанықпауының жоғары дәрежесін растады, бұл өнімдердің биологиялық құндылығын және антиоксидантты тұрақтандыру қажеттілігін көрсетеді.

Органолептикалық бағалау екі үлгінің де жоғары тұтынушылық тартымдылығын көрсетті: майонез 90 ұпай (”өте жақсы”), ал тұздық 93 ұпай (”өте жақсы”) алды, бұл үйлесімді дәмді, теңдестірілген консистенцияны және айқын ащы ноталарды көрсетеді.

Осылайша, эмульсиялық өнімдер технологиясында мақсары майын қолдану жақсартылған тағамдық сипаттамалары, жоғары биологиялық құндылығы және тұрақты сапа көрсеткіштері бар функционалды өнімдерді жасауға мүмкіндік береді. Нәтижелер әзірленген рецепттерді өнеркәсіптік енгізудің болашағын және олардың нарықтағы функционалды тұздықтар мен майонездердің ассортиментін кеңейту әлеуетін растайды.

Қаржыландыру: *Жұмыс Қазақстан Республикасының Ауыл шаруашылығы министрлігі BR22886613 «Ауыл шаруашылығы Өсімдік шаруашылығы өнімдері мен шикізатын қайта өңдеу және сақтау жөніндегі инновациялық технологияларды әзірлеу» қаржыландыратын бағдарлама шеңберінде жүргізілді.*

Қорытындылай келе, біз осы ғылыми жобаның барлық қатысушыларына эксперименттік зерттеулер жүргізуге көмектескені үшін шын жүректен алғыс айтқымыз келеді. Біз сондай-ақ «ҚазҒЗИ қайта өңдеу және тамақ өнеркәсібі» ЖШС Астана филиалының басшылығы мен ғалымдарына алғысымызды білдіреміз.

Әдебиеттер

1. Matthaus B., Özcan M. M., Al Juhaimi F. Y. Fatty acid composition and tocopherol profiles of safflower (Carthamus tinctorius L.) seed oils //Natural product research. -2015. -Vol.29(2). -P.193-196. DOI 10.1080/14786419.2014.971316.

2. Kurt C. et al. Oil Content and Fatty Acid Composition of Safflower (Carthamus tinctorius L.) Germplasm //Foods. -2025. -Vol.14(2): 264. DOI 10.3390/foods14020264.

3. Khalid N., et al. A comprehensive characterisation of safflower oil for its potential applications as a bioactive food ingredient - a review // Trends in Food Science & Technology. -2017. -Vol.66. -P.176-186. DOI 10.1016/j.tifs.2017.06.009.

4. Jaradat N. et al. Phytochemical composition and antidiabetic, anti-obesity, antioxidant, and cytotoxic activities of Carthamus tinctorius seed oil //Scientific Reports. -2024. -Vol.14(1): 31399. DOI 10.1038/s41598-024-83008-z.

5. Orhan D. D. et al. Assessment of commercially safflower oils (Carthami Oleum raffinatum) in terms of European Pharmacopoeia Criteria and their weight control potentials //Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences. -2022. -Vol.19(3). -P.273-279. DOI 10.4274/tjps.galenos.2021.84484.

6. Hou N. C. et al. Quality and active constituents of safflower seed oil: A comparison of cold pressing, hot pressing, Soxhlet extraction and subcritical fluid extraction //LWT. -2024. -Vol.200:116184. DOI 10.1016/j.lwt.2024.116184.

7. Liu L., Guan L. L., Yang Y. X. A review of fatty acids and genetic characterization of safflower (Carthamus tinctorius L.) seed oil //World Journal of Traditional Chinese Medicine. -2016. -Vol.2(2). -P.48-52. DOI 10.15806/j.issn.2311-8571.2016.0006.

8. Sajid M. et al. Comparative assessment of yield, oil content and fatty acid composition of spiny and non-spiny safflowers //OCL. -2024. -Vol.31. DOI 10.1051/ocl/2024029.

9. Bacchetti T. et al. Antioxidant and pro-oxidant properties of Carthamus tinctorius, hydroxy safflor yellow A, and safflor yellow A //Antioxidants. -2020. -Vol.9(2): 119. DOI 10.3390/antiox9020119.

10. Mandade R., Sreenivas S. A., Choudhury A. Radical scavenging and antioxidant activity of Carthamus tinctorius extracts //Free Radicals and Antioxidants. -2011. -Vol.1 (3). -P.87-93. DOI 10.5530/ax.2011.3.12.

11. Tultabaev M. et al. Identifying patterns in the fatty-acid composition of safflower depending on agroclimatic conditions //Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2022. -Vol.2 (11). – P.23-28. DOI 10.15587/1729-4061.2022.255336.

12. Айбульдинов Е. К., Колпек А., Туребаева П.Д., Абдиев К.М. Технология высокоскоростного пиролиза в установках с твердым теплоносителем по методу галотер // Вестник КазУТБ.-2020. -№2. -С.32-37.

13. Mussynov K. M. et al. Economic and bioenergetic efficiency of safflower (Carthamus tinctorius L.) Cultivation with different soil preparation technologies //Herald of science of S. Seifullin Kazakh agrotechnical university: Multidisciplinary. -2018. -№ 1(96).- С.41-49.

References

1. Matthaus B., Özcan M. M., Al Juhaimi F. Y. Fatty acid composition and tocopherol profiles of safflower (Carthamus tinctorius L.) seed oils //Natural product research. -2015. -Vol.29 (2). -P.193-196. DOI 10.1080/14786419.2014.971316.

2. Kurt C. et al. Oil Content and Fatty Acid Composition of Safflower (Carthamus tinctorius L.) Germplasm //Foods. -2025. -Vol.14 (2): 264. DOI 10.3390/foods14020264.

3. Khalid N., et al. A comprehensive characterisation of safflower oil for its potential applications as a bioactive food ingredient — a review // Trends in Food Science & Technology. -2017. -Vol.66. -P. 176-186. DOI10.1016/j.tifs.2017.06.009..

4. Jaradat N. et al. Phytochemical composition and antidiabetic, anti-obesity, antioxidant, and cytotoxic activities of Carthamus tinctorius seed oil //Scientific Reports. -2024. -Vol.14: 31399. DOI 10.1038/s41598-024-83008-z.

5. Orhan D. D. et al. Assessment of commercially safflower oils (Carthami Oleum raffinatum) in terms of European Pharmacopoeia Criteria and their weight control potentials //Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences. -2022. -Vol.19 (3). -P.273-279. DOI 10.4274/tjps.galenos.2021.84484.

6. Hou N. C. et al. Quality and active constituents of safflower seed oil: A comparison of cold pressing, hot pressing, Soxhlet extraction and subcritical fluid extraction //LWT. -2024. -Vol.200:116184. DOI 10.1016/j.lwt.2024.116184.

7. Liu L., Guan L. L., Yang Y. X. A review of fatty acids and genetic characterization of safflower (Carthamus tinctorius L.) seed oil //World Journal of Traditional Chinese Medicine. -2016. -Vol.2 (2). -P.48-52. DOI 10.15806/j.issn.2311-8571.2016.0006.

8. Sajid M. et al. Comparative assessment of yield, oil content and fatty acid composition of spiny and non-spiny safflowers //OCL. -2024. -Vol.31. DOI 10.1051/ocl/2024029.

9. Bacchetti T. et al. Antioxidant and pro-oxidant properties of Carthamus tinctorius, hydroxy safflor yellow A, and safflor yellow A //Antioxidants. -2020. -Vol.9(2): 119. DOI 10.3390/antiox9020119.

10. Mandade R., Sreenivas S. A., Choudhury A. Radical scavenging and antioxidant activity of Carthamus tinctorius extracts //Free Radicals and Antioxidants. -2011. -Vol.1(3). -P.87-93. DOI 10.5530/ax.2011.3.12.

11. Tultabaev M. et al. Identifying patterns in the fatty-acid composition of safflower depending on agroclimatic conditions //Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2022. -Vol.2 (11). -P.23-28. DOI 10.15587/1729-4061.2022.255336.

12. Ajbul' dinov E. K., Kolpek A., Turebaeva P.D., Abdiev K.M. Tehnologija vysokoskorostnogo piroliza v ustanovkah s tverdym teplonositelem po metodu galoter // Vestnik KazUTB.-2020. -№2. -S. 32-37. [in Russian]

13. Mussynov K. M. et al. Economic and bioenergetic efficiency of safflower (Carthamus tinctorius L.) Cultivation with different soil preparation technologies //Herald of science of S. Seifullin Kazakh agrotechnical university: Multidisciplinary. -2018. -№ 1(96).-S.41-49. [in Russian]

Авторлар туралы мәліметтер

Султанова М.- докторант, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: sultanova.2012@mail.ru;

Сеитова Ф.З. - ф.ғ. к., қауымдастырылған профессор, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: me.fatme@mail.ru;

Акжанов Н. - жаратылыстану ғылымдары магистрі, «Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ғылыми-зерттеу институты» ЖШС Астана филиалы, Астана, Қазақстан, e-mail: nurtore0308@gmail.com.

Information about the authors

Sultanova M. - doctoral student, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: sultanova.2012@mail.ru;

Seitova F.Z. - Ph. D., associate professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: me.fatme@mail.ru;

Akzhanov N. - Master of Natural Sciences, Astana Branch of the Kazakh Research Institute of Processing and Food Industries LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: nurtore0308@gmail.com.

МРНТИ 65.59.31 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1321**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ЦВЕТА И ХРАНИМОСТЬ МЯСНЫХ ИЗДЕЛИЙ

[1]Т.К. Кулажанов, [1]М.С. Сериккызы, [2]Л.К. Байболова, [2]К.Е. Тютебаева

[1]Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан,
[2]Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан

Корреспондент-автор: mira.serikkyzy@mail.ru

В статье представлены результаты исследования влияния органических кислот на изменение активной кислотности, микробиологического состояния и цветостабильности варено-копченых мясных продуктов в процессе хранения. Актуальность исследования определяется необходимостью поиска безопасных технологических приемов, одновременно повышающих микробиологическую безопасность продуктов и сохраняющих их потребительские свойства.

Целью исследования была комплексная оценка влияния органических кислот на pH, цвет и микробиологические показатели мясных продуктов после термической обработки и в условиях охлаждения. В качестве объектов исследования были использованы образцы варено-копченых изделий из охлажденного мясного сырья, обработанных рассолами с добавлением органических кислот.

В ходе работы были использованы физико-химические, микробиологические и органолептические методы анализа. Установлено, что использование органических кислот приводит к устойчивому снижению pH среды, ограничивает развитие гнилостной микрофлоры и способствует повышению микробиологической стабильности продуктов. Кроме того, тестируемые образцы отличались более стойкой окраской и лучшими органолептическими показателями по сравнению с контрольными.

Полученные результаты подтверждают целесообразность использования органических кислот в технологии производства варено-копченых мясопродуктов с целью повышения их безопасности, цветостабильности и увеличения срока хранения.

Ключевые слова: мясопродукты, органические кислоты, цветостабильность, хранение, микробиологическая безопасность, pH, сохранность.

ОРГАНИКАЛЫҚ ҚЫШҚЫЛДАРДЫҢ ЕТ ӨНІМДЕРІНІҢ ТҮС ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ МЕН САҚТАЛУ МЕРЗІМІНЕ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

[1]Т.К. Кулажанов, [1]М.С. Сериккызы, [2]Л.К. Байболова, [2]К.Е. Тютебаева

[1]Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail: mira.serikkyzy@mail.ru

Мақалада органикалық қышқылдардың қышқылдық ортаға, микробиологиялық күйге және сақтау процесінде Пісірілген-ысталған ет өнімдерінің түс тұрақтылығына әсері зерттелген. Зерттеудің өзектілігі ет өнімдерінің тұтынушылық қасиеттерін ұзақ уақыт сақтауға, олардың қауіпсіздігін арттыруға мүмкіндік беретін қауіпсіз технологиялық тәсілдерді іздеу қажеттілігіне байланысты.

Зерттеудің мақсаты - органикалық қышқылдардың pH-ға, микробиологиялық көрсеткіштерге және термиялық өңдеуден кейін және суықта сақтау кезінде ет өнімдерінің түсінің тұрақтылығына әсерін кешенді бағалау. Зерттеу нысандары ретінде органикалық қышқылдар қосылған тұздықпен өңделген салқындатылған ет шикізатынан қайнатылған-ысталған өнімдердің үлгілері алынды.

Зерттеуде физика-химиялық, микробиологиялық және органолептикалық талдау әдістері қолданылды. Органикалық қышқылдарды қолдану өнімнің РН көрсеткішінің төмендеуіне, шірік микрофлораның дамуын тежеуге және микробиологиялық тұрақтылықтың жоғарылауына әкелетіні

анықталды. Сонымен қатар, эксперименттік үлгілердің түс тұрақтылығы мен органолептикалық көрсеткіштері бақылау үлгілерімен салыстырғанда жоғары болды.

Нәтижелер Пісірілген-ысталған ет өнімдерін өндіру технологиясында органикалық қышқылдарды қолдану Қауіпсіздік пен сақтауға төзімділікті арттыру тұрғысынан тиімді екенін көрсетеді.

Түйін сөздер: ет өнімдері, органикалық қышқылдар, түс тұрақтылығы, сақтау мерзімі, микробиологиялық қауіпсіздік, РН, сақтау.

STUDY OF THE EFFECT OF ORGANIC ACIDS ON COLOR STABILITY AND SHELF LIFE OF MEAT PRODUCTS

[1]T.K. Kulazhanov, [1]M.S. Serikkyzy✉, [2]L.K. Baibolova, [2]K.E. Tyutebayeva

[1]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan,
[2]«Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov», Astana Kazakhstan,
e-mail: mira.serikkyzy@mail.ru

The article presents the results of a study on the influence of organic acids on pH changes, microbiological stability and color preservation of cooked smoked meat products during storage. The relevance of the study is due to the need to identify safe technological approaches that ensure microbiological safety while maintaining the consumer qualities of meat products.

The purpose of the study was to provide a comprehensive assessment of the effect of organic acids on the pH value, color characteristics and microbiological indicators of meat products after heat treatment and during storage in the refrigerator. Samples of boiled smoked meat obtained from chilled raw meat treated with medicinal solutions containing organic acids were used as the object of the study.

Physico-chemical, microbiological and sensory analysis methods were used. It has been found that the use of organic acids leads to a stable decrease in PH, inhibits the development of disturbed microflora and increases the microbiological stability of products. In addition, the experimental samples showed high color fastness and good sensory properties compared to the control samples.

The experimental results indicate that organic acids can be effectively used in the technology of boiled and smoked meat products to increase their safety, stability and shelf life.

Key words: meat products, organic acids, color fastness, shelf life, Microbiological Safety, PH, storage.

Введение. В условиях интенсификации производства мясных продуктов особое значение приобретает не только увеличение срока их хранения, но и сохранение стабильных органолептических характеристик, в первую очередь цвета, который во многом определяет восприятие потребителем качества продукта. Даже незначительные изменения цвета готовых мясных изделий в процессе хранения часто воспринимаются потребителями как признак снижения свежести и безопасности продукта [1].

Известно, что нестабильность окраски мясных продуктов во многом связана с развитием окислительных процессов, а также с жизнедеятельностью микрофлоры. Традиционно для замедления этих процессов используются различные консервирующие добавки, но современные требования к безопасности и ”чистоте этикетки” ограничивают использование ряда синтетических компонентов. В связи с этим особый интерес представляет поиск альтернативных технологических решений, основанных на использовании безопасных природных соединений.

Одним из таких направлений является использование органических кислот, которые обладают выраженным антимикробным действием и способностью регулировать активную кислотность мясной среды. Снижение рН из-за органических кислот способствует созданию неблагоприятных условий для развития гнилостной микрофлоры, снижает активность ферментных систем микроорганизмов и в то же время мо-

жет повлиять на стабильность пигментного комплекса мышечной ткани. Однако, несмотря на наличие отдельных публикаций, влияние органических кислот на ряд показателей - цвет, микробиологическую безопасность и сроки хранения варено-копченых мясных продуктов - остается спорным и требует дополнительного экспериментального подтверждения [2].

В связи с этим важно провести комплексную оценку влияния органических кислот на физико-химические, микробиологические и цветовые характеристики мясных продуктов в условиях холодного хранения.

Объектом исследования были варено-копченые мясные изделия из охлажденного мясного сырья.

Предметом исследования является влияние органических кислот на pH, микробиологическую безопасность, стабильность цвета и срок годности мясных продуктов при хранении.

Целью исследования было оценить влияние органических кислот на стабильность цвета, микробиологические показатели и срок годности варено-копченых мясных продуктов после тепловой обработки и при хранении в холодильнике.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись образцы варёно-копчёных мясных изделий, изготовленных из охлаждённого говяжьего сырья. В качестве основного сырья использовалась жилованная говядина односортная.

Термическую обработку варёно-копчёных изделий осуществляли по стадиям:

- подсушка при температуре 64-66 °С и относительной влажности 28-30 % в течение 40-60 мин;

- копчение при температуре 76-78 °С и относительной влажности 25-28 % в течение 40-60 мин;

- варка при температуре 74-84 °С и относительной влажности 98-99 % до достижения готовности продукта;

- охлаждение готовой продукции до температуры 2-6 °С.

Хранение исследуемых образцов осуществляли в холодильных камерах при температуре 2-6 °С в течение установленного экспериментального периода. Контроль качества продукции проводили в динамике хранения.

При выполнении исследования применялись общепринятые и специальные методы определения физико-химических, микробиологических показателей и показателей безопасности мясного сырья и готовых изделий.

Для исследования использовали следующие методики, регламентированные стандартами:

СТ РК ISO 2917-2009 Мясо и мясные продукты. Определение pH [3].

СТ РК ISO 4833-1-2013 Микробиология пищевой продукции. Определение количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) [4].

СТ РК ISO 6579-1-2015 Микробиология пищевой продукции. Обнаружение Salmonella spp [5].

СТ РК ISO 6888-1-2016 Микробиология пищевой продукции. Определение Staphylococcus aureus [6].

СТ РК ISO 16649-2-2019 Микробиология пищевой продукции. Определение Escherichia coli [7].

ГОСТ 31747-2012 Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (БГКП) [8].

ГОСТ 26927-2012 Сырьё и продукты пищевые. Методы определения ртути [9].

ГОСТ 26929-2012 Продукты пищевые. Определение мышьяка [10].

ГОСТ 26930-2012 Продукты пищевые. Определение свинца [11].

ГОСТ 26933-2012 Продукты пищевые. Определение кадмия [12].

ГОСТ 32161-2013 Продукты пищевые. Определение остаточного содержания антибиотиков [13].

ГОСТ 32163-2013 Продукты пищевые. Определение остаточного содержания пестицидов

[14].

ГОСТ 32164-2013 Продукты пищевые. Определение содержания радионуклидов [15].

Определение активной кислотности (pH) проводили потенциометрическим методом с использованием стандартного лабораторного pH-метра. Измерения выполняли в водной вытяжке из предварительно измельчённых мясных образцов при температуре (20 ± 2) °C. Перед началом работы прибор калибровали по стандартным буферным растворам с pH 4,00 и pH 7,00. Значения pH фиксировали после стабилизации показаний.

Микробиологическую оценку качества исследуемых образцов проводили по показателям: КМАФАнМ, БГКП, наличие патогенных микроорганизмов, в том числе сальмонелл, а также Staphylococcus aureus и Escherichia coli.

Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) определяли методом глубинного посева. Навеску продукта гомогенизировали в стерильном изотоническом растворе, готовили серию десятикратных разведений, которые высевали на плотную питательную среду. Посевы инкубировали при температуре (30 ± 1) °C в течение 72 ч, после чего проводили подсчёт выросших колоний с выражением результатов в КОЕ/г.

Выявление бактерий группы кишечных палочек осуществляли методом посева на селективно-дифференциальные питательные среды с последующей инкубацией и визуальной оценкой роста характерных колоний.

Обнаружение бактерий рода Salmonella spp. проводили методом предварительного и селективного обогащения с последующим высевом на селективные среды и подтверждением типичных культур по морфологическим и биохимическим признакам.

Определение Staphylococcus aureus выполняли методом посева на селективные среды с последующей инкубацией при температуре (37 ± 1) °C и идентификацией характерных колоний.

Выявление Escherichia coli осуществляли с использованием селективных питательных сред с последующей инкубацией и проведением подтверждающих тестов.

Контроль содержания токсичных элементов, антибиотиков, пестицидов и радионуклидов осуществляли на соответствие требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» и ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции», при этом количественное определение указанных показателей выполняли с применением стандартных аналитических методов, обеспечивающих требуемую точность и воспроизводимость измерений.

Контроль остаточного содержания антибиотиков, пестицидов и радионуклидов осуществляли с последующим сопоставлением полученных значений с допустимыми уровнями, установленными действующими нормативными требованиями.

Все исследования проводили не менее чем в трёхкратной повторности. Полученные экспериментальные данные подвергались статистической обработке с вычислением средних значений и анализом воспроизводимости результатов.

Обсуждение и результаты. В ходе проведённых исследований установлено, что введение органических кислот в состав рассолов оказывает выраженное влияние на активную кислотность среды, микробиологическое состояние и стабильность качества варёно-копчёных мясных изделий в процессе хранения. Полученный эффект согласуется с рядом литературных данных, однако в каждом конкретном случае определяется видом сырья, технологическими режимами и используемыми дозировками кислот.

Анализ динамики изменения активной кислотности показал, что в опытных образцах, обработанных рассолами с добавлением органических кислот, значения pH на всех этапах хранения были ниже по сравнению с контрольными образцами Таблица 1. При этом характер изменения pH в опытных образцах отличался большей стабильностью, что может свидетельствовать о формировании более устойчивой буферной системы. С практической точки зрения это

имеет существенное значение, поскольку именно сдвиг реакции среды в кислую сторону ограничивает развитие гнилостной микрофлоры и замедляет биохимические процессы распада.

Таблица 1. Динамика изменения pH варёно-копчёных мясных изделий в процессе хранения

№	Срок хранения, сутки	Контрольный образец (без орг. кислот)	Опытный образец (с орг. кислотами)
1	0	6,28 ± 0,02	5,92 ± 0,02
2	7	6,34 ± 0,03	5,95 ± 0,03
3	14	6,41 ± 0,03	5,98 ± 0,03
4	21	6,49 ± 0,04	6,01 ± 0,03

Микробиологический анализ подтвердил, что использование органических кислот обеспечивает выраженный антимикробный эффект. Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) в опытных образцах было достоверно ниже по сравнению с контрольными на всех этапах хранения Таблица 2. Особенно показательно, что в опытных образцах в течение всего периода хранения не выявлялись бактерии группы кишечных палочек, Staphylococcus aureus и Escherichia coli, тогда как в контрольных образцах данные микроорганизмы обнаруживались. Полученные результаты логично объясняются механизмами антимикробного действия органических кислот, связанными с подавлением ферментативной активности микроорганизмов и нарушением проницаемости их клеточных мембран при снижении pH среды. Аналогичные закономерности отмечаются и в работах других исследователей [16].

Таблица 2. Микробиологические показатели варёно-копчёных мясных изделий в процессе хранения 21 сутки

Показатель	Норма	Контрольный образец	Опытный образец
КМАФАнМ, КОЕ/г	$1{,}0 \times 10^5$	$8{,}7 \times 10^4$	$2{,}1 \times 10^4$
БГКП	Не допускаются	Обнаружены	Не обнаружены
Salmonella spp.	Не допускаются	Не обнаружены	Не обнаружены
Staphylococcus aureus	Не допускается	Обнаружены	Не обнаружены
Escherichia coli	Не допускается	Обнаружены	Не обнаружены

Во всех опытных образцах в течение всего срока хранения не выявлялись бактерии группы кишечных палочек, патогенные микроорганизмы, включая сальмонеллы, а также Staphylococcus aureus и Escherichia coli. Полученные данные подтверждают, что использование органических кислот в технологии производства варёно-копчёных мясных изделий обеспечивает высокий уровень микробиологической безопасности продукции.

Выявленное снижение общей микробной обсеменённости объясняется подавлением ферментативной активности микроорганизмов при снижении pH, а также ухудшением условий для их размножения и жизнедеятельности [17].

Контроль показателей безопасности показал,

что содержание токсичных элементов, антибиотиков, пестицидов и радионуклидов в опытных и контрольных образцах находилось в пределах допустимых норм Таблица 3. Следовательно, введение органических кислот не оказывает отрицательного влияния на показатели химической безопасности готовой продукции.

Таблица 3. Показатели безопасности варёно-копчёных мясных изделий

Показатель	Допустимый уровень	Контрольный образец	Опытный образец
Свинец, мг/кг	0,50	0,12	0,11
Мышьяк, мг/кг	0,10	0,03	0,03
Кадмий, мг/кг	0,05	0,01	0,01
Ртуть, мг/кг	0,03	0,01	0,01
Антибиотики	Не допускаются	Не обнаружены	Не обнаружены
Пестициды	Не допускаются	Не обнаружены	Не обнаружены
Радионуклиды	В норме	В норме	В норме

Наблюдения за изменением цветовых характеристик мясных изделий в процессе хранения выявили более высокую устойчивость окраски в опытных образцах по сравнению с контрольными. В контрольных образцах в динамике хранения отмечалась тенденция к потемнению поверхности и снижению интенсивности окраски, что, по-видимому, связано с развитием окислительных процессов и активностью микрофлоры. В опытных образцах такие изменения были выражены значительно слабее. Это позволяет предположить, что органические кислоты, снижая интенсивность окисления миоглобина и липидных компонентов, способствуют стабилизации пигментного комплекса мышечной ткани.

Повышение хранимости продукции обусловлено совокупным действием органических кислот, проявляющимся в стабилизации pH среды, снижении интенсивности окислительных процессов и подавлении роста микроорганизмов [18].

Полученные результаты согласуются с современными представлениями о механизмах антимикробного действия органических кислот. Снижение pH приводит к нарушению проницаемости клеточных мембран микроорганизмов, угнетению активности ферментных систем и снижению скорости метаболических процессов [19]. Это, в свою очередь, обеспечивает замедление процессов порчи мясных изделий и увеличение сроков их хранения.

Стабилизация цветовых характеристик мясных изделий в опытных образцах может быть объяснена снижением интенсивности окисления миоглобина и липидных компонентов под воздействием более стабильной кислой среды. В совокупности это подтверждает эффективность применения органических кислот как технологического инструмента, направленного на повышение качества и безопасности мясных изделий [20].

Органолептическая оценка также подтвердила положительное влияние органических кислот: изделия характеризовались более ровным цветом, плотной консистенцией и отсутствием посторонних запахов. В совокупности полученные результаты свидетельствуют о том, что использование органических кислот в технологии варёно-копчёных мясных изделий позволяет одновременно решать несколько технологических задач — повышать микробиологическую безопасность, стабилизировать цвет и увеличивать хранимость продукции.

Выводы. Исследование показало, что исполь-

зование органических кислот оказывает комплексное влияние на свойства варено-копченых мясных продуктов при хранении.

Установлено, что введение органических кислот в состав рассолов обеспечивает устойчивое снижение показателя pH, что создаёт неблагоприятные условия для развития гнилостной микрофлоры и способствует уменьшению общей микробной обсеменённости продукции. В течение всего срока хранения в опытных образцах не выявлялись бактерии группы кишечных палочек, сальмонеллы, Staphylococcus aureus и Escherichia coli, что свидетельствует о высоком уровне микробиологической безопасности продукции.

Показано, что органические кислоты оказывают стабилизирующее влияние на цветовые характеристики мясных изделий. В опытных образцах наблюдалось более длительное сохранение равномерной и интенсивной окраски, тогда как в контрольных образцах в процессе хранения отмечались выраженные признаки потемнения поверхности.

Выявлено, что совокупное антимикробное и антиокислительное действие органических кислот способствует увеличению сроков хранимости варёно-копчёных мясных изделий при температуре 2–6 °C без ухудшения их органолептических свойств.

Полученные экспериментальные данные позволяют рекомендовать органические кислоты в качестве эффективного технологического приема для повышения безопасности и стабильности качества варено-копченых мясных продуктов.

Перспективы дальнейших исследований связаны с уточнением оптимальных дозировок органических кислот, изучением их комбинированного действия, а также расширением ассортимента мясных изделий, в технологии которых данный приём может быть эффективно реализован.

Литература

1. Rebezov, M., M. Khayrullin, B. Assenova, et al. Improving Meat Quality and Safety: Innovative Strategies//Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences.- 2024.-Vol.18.-P.523-546. DOI 10.5219/1972.

2. Ahmad H. et al. Effect of organic acids on the microbial profile and shelf life of buffaloe meat sausages. //Insights-journal of Life and social sciences.-2025.-Vol.3.(1).-P.16-24. DOI 10.71000/1w06j489.

3. СТ РК ISO 2917-2009 Мясо и мясные продукты. Определение pH. - Астана: КазИнСт, 2009. – 12 с.

4. СТ РК ISO 4833-1-2013 Микробиология пищевой продукции. Горизонтальный метод определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ). - Астана: Стандарт, 2013. - 15 с.

5. СТ РК ISO 6579-1-2015 Микробиология пищевых продуктов. Обнаружение Salmonella spp. - Астана: Стандарт, 2015. - 27 с.

6. СТ РК ISO 6888-1-2016 Микробиология пищевых продуктов. Определение количества Staphylococcus aureus. - Астана: Стандарт, 2016. - 18 с.

7. СТ РК ISO 16649-2-2019 Микробиология пищевых продуктов. Горизонтальный метод определения количества Escherichia coli. - Астана: Стандарт, 2019. - 22 с.

8. ГОСТ 31747-2012 Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (БГКП). - М.: Стандартинформ, 2012. - 16 с.

9. ГОСТ 26927-2012 Сырьё и продукты пищевые. Метод определения ртути. - М.: Стандартинформ, 2012. - 10 с.

10. ГОСТ 26929-2012 Продукты пищевые. Определение мышьяка. - М.: Стандартинформ, 2012. - 12 с.

11. ГОСТ 26930-2012 Продукты пищевые. Определение свинца. - М.: Стандартинформ, 2012. - 10 с.

12. ГОСТ 26933-2012 Продукты пищевые. Определение кадмия. - М.: Стандартинформ, 2012. - 10 с.

13. ГОСТ 32161-2013 Продукты пищевые. Определение остаточного содержания антибиотиков. - М.: Стандартинформ, 2013. - 14 с.

14. ГОСТ 32163-2013 Продукты пищевые. Определение остаточного содержания пестицидов. - М.: Стандартинформ, 2013. - 16 с.

15. ГОСТ 32164-2013 Продукты пищевые. Определение содержания радионуклидов. - М.: Стандартинформ, 2013. - 20 с.

16. Shewail A.A., Shaltout F.A., Gerges T.M. Impact of some organic acids and their salts on microbial quality and shelf life of beef // Assiut Veterinary Medical Journal.- 2018.-Vol.64(159).- P.164. DOI 10.21608/avmj.2018.169040.

17. Enkhbold M. et al. Effects of Lactic Acid and Ascorbic Acid Mixture on Quality Properties of Wild Red Deer (Cervus Elaphus) Meat //Applied Sciences.-2024.-Vol.14.(19):8915. DOI 10.3390/app14198915.

18. Sorathiya K. B. et al. Organic acids in food preservation: Exploring synergies, molecular insights, and sustainable applications //Sustainability. - 2025.-Vol.17(8):3434. DOI 10.3390/su17083434.

19. Bodie A.R. et al. Alternative Additives for Organic and Natural Ready-to-Eat Meats to Control Spoilage and Maintain Shelf Life: Current Perspectives in the United State// Foods. - 2024.-Vol.13(3): 464. DOI 10.3390/foods13030464.

20. Kobylyatsky P. S. et al. Increasing the shelf life of meat products as the key to ensuring food safety //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - IOP Publishing, 2022. - Vol.981(2): 022109. DOI 10.1088/1755-1315/981/2/022109.

21. Kobylyatsky P. S. et al. Increasing the shelf life of meat products as the key to ensuring food safety //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - IOP Publishing, 2022. - Vol.981(2): 022109. DOI 10.1088/1755-1315/981/2/022109.

References

1. Rebezov, M., M. Khayrullin, B. Assenova, et al. Improving Meat Quality and Safety: Innovative Strategies//Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences.- 2024.-Vol.18.-P.523-546. DOI 10.5219/1972.

2. Ahmad H. et al. Effect of organic acids on the microbial profile and shelf life of buffaloe meat sausages. //Insights-journal of Life and social sciences.-2025.-Vol.3.(1).-P.16-24. DOI 10.71000/1w06j489.

3. ST RK ISO 2917-2009 Mjaso i mjasnye produkty. Opredelenie pH.-Astana: KazInSt, 2009. - 12 s. [in Russian]

4. ST RK ISO 4833-1-2013 Mikrobiologija pishhevoj produkcii. Gorizontal’ nyj metod opredelenija kolichestva mezofil’ nyh ajerobnyh i fakul’ tativno-anajerobnyh mikroorganizmov (KMAFAnM). - Astana: Standart, 2013. - 15 s. [in Russian]

5. ST RK ISO 6579-1-2015 Mikrobiologija pishhevyh produktov. Obnaruzhenie Salmonella spp. - Astana: Standart, 2015. - 27 s. [in Russian]

6. ST RK ISO 6888-1-2016 Mikrobiologija pishhevyh produktov. Opredelenie kolichestva Staphylococcus aureus. - Astana: Standart, 2016. - 18 s. [in Russian]

7. ST RK ISO 16649-2-2019 Mikrobiologija pishhevyh produktov. Gorizontal' nyj metod opredelenija kolichestva Escherichia coli. - Astana: Standart, 2019. - 22 s. [in Russian]

8. GOST 31747-2012 Produkty pishhevye. Metody vyjavlenija i opredelenija kolichestva bakterij gruppy kishechnyh palochek (BGKP). - M.: Standartinform, 2012. - 16 s. [in Russian]

9. GOST 26927-2012 Syr' jo i produkty pishhevye. Metod opredelenija rtuti. - M.: Standartinform, 2012. - 10 s. [in Russian]

10. GOST 26929-2012 Produkty pishhevye. Opredelenie mysh' jaka -M.:Standartinform, 2012. - 12 s. [in Russian]

11. GOST 26930-2012 Produkty pishhevye. Opredelenie svinca. - M.: Standartinform, 2012. - 10 s. [in Russian]

12. GOST 26933-2012 Produkty pishhevye. Opredelenie kadmija. - M.: Standartinform, 2012. - 10 s. [in Russian]

13. GOST 32161-2013 Produkty pishhevye. Opredelenie ostatochnogo soderzhanija antibiotikov. - M.: Standartinform, 2013. - 14 s. [in Russian]

14. GOST 32163-2013 Produkty pishhevye. Opredelenie ostatochnogo soderzhanija pesticidov. - M.: Standartinform, 2013. - 16 s. [in Russian]

15. GOST 32164-2013 Produkty pishhevye. Opredelenie soderzhanija radionuklidov. - M.: Standartinform, 2013. - 20 s. [in Russian]

16. Shewail A.A., Shaltout F.A., Gerges T.M. Impact of some organic acids and their salts on microbial quality and shelf life of beef // Assiut Veterinary Medical Journal.- 2018.-Vol.64(159).- P.164. DOI 10.21608/avmj.2018.169040.

17. Enkhbold M. et al. Effects of Lactic Acid and Ascorbic Acid Mixture on Quality Properties of Wild Red Deer (Cervus Elaphus) Meat //Applied Sciences.-2024.-Vol.14.(19):8915. DOI 10.3390/app14198915.

18. Sorathiya K. B. et al. Organic acids in food preservation: Exploring synergies, molecular insights, and sustainable applications //Sustainability. - 2025.-Vol.17(8):3434. DOI 10.3390/su17083434.

19. Bodie A.R. et al. Alternative Additives for Organic and Natural Ready-to-Eat Meats to Control Spoilage and Maintain Shelf Life: Current Perspectives in the United State// Foods. - 2024.-Vol.13(3): 464. DOI 10.3390/foods13030464.

20. Kobylyatsky P. S. et al. Increasing the shelf life of meat products as the key to ensuring food safety //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - IOP Publishing, 2022. - Vol.981(2): 022109. DOI 10.1088/1755-1315/981/2/022109.

21. Kobylyatsky P. S. et al. Increasing the shelf life of meat products as the key to ensuring food safety //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - IOP Publishing, 2022. - Vol.981(2): 022109. DOI 10.1088/1755-1315/981/2/022109.

Сведения об авторах

Кулажанов Т.К.- д.т.н., профессор, академик НАН РК, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail: rector@atu.edu.kz;

Сериккызы М.С. - PhD, ассоциированный профессор, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail: mira.serikkyzy@mail.ru;

Байболова Л.К. - д.т.н., профессор, АО «Казахский университет технологии и бизнеса имени К.Кулажанова», Астана, Казахстан, e-mail: l.baybolova@kaztbu.edu.kz;

Тютебаева К. Е. - PhD, АО «Казахский университет технологии и бизнеса имени К.Кулажанова», Астана, Казахстан, e-mail: kamadulam@mail.ru.

Information about the authors

Kulazhanov T.K. - Doctor of technical sciences, professor, academician of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan, JSC “Almaty technological university”, Almaty, Kazakhstan, e-mail: rector@atu.edu.kz;

Serikkyzy M.S. - PhD, associate professor, JSC “Almaty technological university”, Almaty, Kazakhstan, e-mail: mira.serikkyzy@mail.ru;

Baibolova L.K. - Doctor of technical sciences, professor, JSC “K. Kulazhanov Kazakh University of technology and business”, Astana, Kazakhstan, e-mail: l.baybolova@kaztbu.edu.kz;

Tyutebayeva K.E. - PhD, JSC “K. Kulazhanov Kazakh University of technology and business”, Astana, Kazakhstan, e-mail: kamadulam@mail.ru.

МРНТИ 65.29.03 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1142**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АНАЛИЗА КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕКЛАССНОЙ ПШЕНИЦЫ КАЗАХСТАНА УРОЖАЯ 2024 ГОДА

О.И. Ким, Б.К. Тарабаев, Д.А. Шаймерденова, А.Ж. Исмагулова

Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, Астана, Казахстан

Корреспондент-автор: kim_olyaaa@mail.ru

В условиях нестабильности климатических изменений значительная часть урожая пшеницы в Казахстане представлена неклассным зерном, не соответствующим требованиям к зерну, соответствующий СТ РК 1046-2008 «Пшеница. Технические условия». Настоящее исследование направлено на комплексный анализ физико-химических и технологических характеристик неклассной пшеницы урожая 2024 года с применением методов искусственного интеллекта. В рамках работы была сформирована уникальная база данных, объединяющая лабораторные показатели и цифровые изображения зерна. Полученные результаты подтверждают перспективность интеграции ИИ в процессы оценки и сортировки пшеницы, а также закладывают основу для создания интеллектуальной системы аграрной диагностики.

Ключевые слова: неклассная пшеница, число падения, искусственный интеллект, компьютерное зрение, машинное обучение, агроаналитика, качество зерна, классификация.

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ 2024 ЖЫЛҒЫ ӨНІМНІҢ НЕКЛАСС БИДАЙЫНЫҢ САПАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ТАЛДАУ ҮШІН ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ

О.И. Ким, Б.К. Тарабаев, Д.А. Шаймерденова, А.Ж. Исмагулова

С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,Астана, Қазақстан,
e-mail: kim_olyaaa@mail.ru

Аграрлық нарықтағы тұрақсыздық пен климаттың өзгеруі жағдайында Қазақстандағы бидайдың елеулі бөлігі ST RK 1046-2008 «Бидай. Техникалық талаптар» стандартына сәйкес келмейтін некласс дәндерден тұрады. Бұл зерттеу 2024 жылғы жинақталған некласс бидайдың физико-химиялық және технологиялық сипаттамаларын жасанды интеллект әдістерін пайдалана отырып кешенді талдауға бағытталған. Лабораториялық көрсеткіштер мен дәннің цифрлық кескіндерін біріктірген ерекше мәліметтер базасы құрылды. Алынған нәтижелер ИИ-ді бидайдың сапасын бағалау және сұрыптау процестеріне интеграциялаудың перспективаларын растайды және агроаналитикалық интеллектуалды диагностикалық жүйе құруға негіз болады.

Түйін сөздер: некласс бидай, түсу саны, жасанды интеллект, компьютерлік көру, машинамен оқыту, агроаналитика, дән сапасы, классификация.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS FOR ANALYZING THE QUALITY CHARACTERISTICS OF NON-CLASS WHEAT IN KAZAKHSTAN FROM THE 2024 HARVEST

O.I. Kim, B.K. Tarabayev, D.A. Shaimerdenova, A.Zh. Ismagulova

Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin, Astana, Kazakhstan,
e-mail: kim_olyaaa@mail.ru

Amid increasing instability in the agricultural market and climate change, a significant portion of the wheat harvest in Kazakhstan consists of non-class grain that does not meet the requirements of ST RK 1046-2008 ”Wheat. Technical specifications.” This study focuses on a comprehensive analysis of the physicochemical and technological characteristics of non-class wheat from the 2024 harvest using artificial intelligence methods. A unique database combining laboratory indicators and digital images of

the grain was developed. The results confirm the potential of integrating AI into wheat quality assessment and sorting processes, laying the foundation for the creation of an intelligent system for agricultural diagnostics.

Keywords: non-class wheat, falling number, artificial intelligence, computer vision, machine learning, agroanalytics, grain quality, classification.

Введение. Казахстан входит в топ пятнадцати стран по выращиванию пшеницы, и является одним из лидеров по поставке зерновых культур в страны Центральной Азии, Европы и Ближнего Востока [1]. Но вместе с зерном высшего уровня, ежегодно имеет место немалая часть урожая неклассной пшеницы. Это зерно, не соответствующее требованиям по ряду показателей, таких как содержание белка, клейковины и также нет соответствия натурного веса зерну высокого качества. Сложность целесообразного потребления и достоверность анализа качества неклассной пшеницы становится особенно важным в условиях изменения климата. Поэтому передовые способы цифрового анализа, включая методы искусственного интеллекта (ИИ), открывают большие возможности в сфере анализа качественных характеристик зерна. Использование ИИ дает возможность не только усовершенствовать методы оценки качества зерна, но и распознать не видимую зависимость между климатическими условиями и итоговыми показателями урожая. Несмотря на активное внедрение ИИ в сельское хозяйства ряда стран, однако в Казахстане таких разработок еще немного, особенно в отношении диагностики неклассной пшеницы. Данное исследование ориентировано на всестороннюю оценку качественных показателей неклассной пшеницы урожая 2024 года, собранной с различных областей Казахстана, с применением новейших способов машинного обучения. Целью работы является установление закономерностей, воздействующих на качество зерна, а также создание моделей, дающих возможность исследовать пшеницу по качеству с максимальной точностью. Полученные результаты помогут лучше сортировать, хранить и перерабатывать зерно. Кроме того, они могут быть использованы при выборе ключевых разработок в сельском хозяйстве - чтобы сделать его более результативным.

В приоритете национальной стратегии Казахстана развитие агропромышленного комплекса. Президент Республики Казахстан Касым-Жомарт Токаев выделил важность улучшения качества продуктов сельского хозяйства и введение иинновационных процессов. В своём выступлении на первом форуме работников сельского хозяйства он отметил, что ”наше большое достижение – высокое качество отечественной продукции, значительная часть которой поставляется на экспорт”. Это подчёркивает актуальность применения инновационных методов, включая ИИ, для улучшения качества и конкурентоспособности казахстанской пшеницы на мировом рынке [2].

Характеристики пшеницы по качеству - содержание белка, клейковины, натура, влажность и другие - это основные параметры при её классификации, переработке и экспорте. Определение точности этих показателей, в значительной степени влияет на рыночную стоимость зерна, создания пищевой безопасности и выбор стратегических решений в отрасли сельского хозяйства.

В странах с развитым аграрным производством, интенсивно применяются цифровые технологии и методы искусственного интеллекта (ИИ) для исследования зерна и изменения его качеств.

Так, Chlingaryan и соавт [3] в своём обзорном исследовании выделяют большую значимость машинного обучения в точном земледелии - включая прогнозирование урожайности и установление азотного статуса растений, что также может быть использованно в оценке качества зерна.

Zhao et al. показали эффективность нейронных сетей при прогнозе основных показателей зерна, учитывая климатические условия и характеристику грунта [4]. В Канаде, Австралии и США интенсивно применяют алгоритмы ма-

шинного обучения, случайный лес, градиентный бустинг и поддерживающие векторные машины для анализа и сортировки зерна на ранних стадиях логистического процесса [5].

К тому же, ряд исследований показал, что метод спектрального анализа в сочетании с ИИ существенно увеличивает точность и быстроту иследований свойств пшеницы без выполнения обычных лабораторных практик [6,7]. Это очень важно при работе с большим количеством неклассного зерна, где необходима скоростная механизированная сортировка.

В международной научной среде Казахстан проводит интенсивные исследования, но вопрос использования искусственного интеллекта для определения качественных параметров пшеницы, в частности неклассной, остается мало изученной. В нашей стране действующие изучения в основном направленны на агрохимические, селекционные и технологические свойства зерна [6],[8], а введения цифровых и интеллектуальных приемов в диагностику урожая имеет неполный и периодический характер.

В связи с возникновениями климатических трудностей, оказавших влияние на качество урожая 2024 года вышеуказанная проблема становится очень важной. Поэтому возникает острая потребность в изучении и внедрению новых функциональных исследований, которые позволят точно, быстро и экономично оценивать качество неклассной пшеницы с последующим внедрением результатов в процесс логистики, хранения и переработки [9].

Материалы и методы. ***Объект исследования***. Предметом исследования стала пшеница урожая 2024 года, собранная с разных областей и регионов Республики Казахстан. Основное внимание было обращено на зерно, не соответствующее требованиям 1-3 классов по физико-химическим показателям, включая пониженную массу 1000 зерен, низкое содержание белка и клейковины, повышенную влажность, а также признаки повреждений и загрязнений.

Используемые образцы отбирались с различных областей с разнообразными климатическими и почвенными условиями: Акмолинская, Костанайская, Северо-Казахстанская и Карагандинская области. Общий объем выборки составил более 60 образцов.

Методы лабораторного анализа. Каждый образец проходил стандартную лабораторную оценку по следующим показателям:

- массовая доля белка (%), методом Кьельдаля;

- содержание сырой клейковины (%), механическим способом;

- число падения (сек), по методу Хагберга;

- влажность зерна (%), сушильным методом;

- натура (г/л), измерением объема заданной массы;

-масса 1000 зерен (г) и визуальная оценка состояния (наличие болезней, механических повреждений, сорной примеси).

Все измерения проводились в лаборатории ТОО «НПП «Инноватор», согласно ГОСТ и международным методикам ISO.

Параметры съёмки и аннотирования изображений. Для построения набора данных использовались стандартизированные условия съёмки:

- камера: Canon EOS 80D, матрица APS-C, объектив 50 мм;

- освещение: два LED-софтбокса 5500 K, расположение под углом 45°;

- фон: матовый нейтрально-серый фон (18 % grey);

- разрешение съёмки: 6000×4000 px;

- угол съёмки: 90° сверху (top-view);

- формат: RAW с последующей конвертацией в PNG.

Аннотирование включало:

- ручную разметку границ зёрен (bounding boxes);

- присвоение классов по качеству на основе лабораторных показателей;

- автоматическую генерацию дополнительных признаков (текстура, площадь контура, цве-

товые гистограммы).

Методы статистической обработки данных. Для количественного анализа применялись:

- расчёт средних значений и стандартного отклонения;

- определение доверительных интервалов (95% CI);

- критерий Стьюдента для сравнения групп;

- корреляционный анализ Пирсона для определения взаимосвязей между цветом, геометрией и лабораторными показателями;

-кластеризация k-means для выявления скрытых групп.

Формирование базы данных и подготовка к моделированию. В процессе изучения была собрана собственная экспериментальная база данных, в которую входят зрительные и физико-химические характеристики образцов неклассной пшеницы урожая 2024 года. Всего было отобрано 50 образцов, каждый из них прошёл лабораторный анализ по стандартным показателям качества: массовая доля белка, содержание сырой клейковины, натура, влажность, масса 1000 зерен и число падения.

Для каждого образца были сделаны высококачественные цифровые фотографии. Для обеспечения точного воссоздания внешних характеристик таких как цвет, форма, размер и наличие дефектов зерна, съемка производилась в специально подготовленной среде. Все фотографии были сверены с соответствующими лабораторными показателями, в результате чего была создана объединённая база данных, в которую входят как визуальные, так и количественные параметры.

Разработанный набор данных является основой для дальнейшего применения приемов компьютерного зрения и машинного обучения для получения системы ИИ, которая способна распознать качество пшеницы, согласно введенных изображений. Планируется использование сверточных нейронных сетей (CNN) для автоматического получения признаков с изображений зерна и классификации образцов согласно их физико-химическим характеристикам.

На этапе подготовки к моделированию проводилось описание изображений, балансировка классов, а также предварительный анализ взаимосвязи между зрительными признаками и лабораторными показателями. В дальнейшем, данная система может быть приспособлена для промышленных решений, а также даст возможность делать экспресс-оценку качества пшеницы без лабораторных анализов.

Обсуждение и результаты. В результате проведения лабораторных исследований 50 образцов неклассной пшеницы урожая 2024 года, были получены количественные данные по шести основным физико-химическим показателям. Величины параметров существенно варьируются, что подтвердило неоднородность исследуемого материала и необходимость его дальнейшей классификации.

Анализ физико-химических характеристик. Проведённый анализ показал, что содержание белка (протеина) в образцах пшеницы колебалось от 11,0% до 16,6%, а количество сырой клейковины - от 21,0% до 34,4%. Натура зерна варьировалась в пределах от 650 до 800 г/л, влажность - от 9,0% до 21,0% (таблица 1). Эти показатели демонстрируют значительную разницу в качестве зерна, что особенно актуально при анализе неклассной пшеницы

Согласно требованиям СТ РК 1046 - 2008 ”Пшеница. Общие технические условия”, для продовольственной мягкой пшеницы 3 класса минимальные значения составляют [10]:

- содержание белка - не менее 13%;

- содержание сырой клейковины - не менее 23%;

- натура - не менее 730 г/л.

На основании этих критериев можно отнести следующие образцы к неклассной - не соответствует по всем трем показателям:

- образец 4 (КХ «Казына»): протеин 11,0%, клейковина 21,0%, натура 710 г/л - не соответствует по всем трем показателям;

- образец 5 (КХ «Жас Талап»): натура 650 г/л

- значительное отклонение от нормы;

- образец 6 (ТОО «Новокубанская»): протеин 12,4%, натура 734 г/л - не соответствует по белку, пограничное значение по натуре.

Также некоторые образцы, несмотря на высокое содержание клейковины, имели высокую влажность (например, образец 6 - 21,0%), что может свидетельствовать о нарушениях условий хранения или поздней уборке, снижая общее качество зерна и его устойчивость к порче.

Кроме того, визуальный осмотр выявил наличие таких признаков, как мучнистость (образец 3) и сорные примеси (образец 7), которые также негативно влияют на потребительские и технологические свойства зерна.

Таким образом, часть образцов чётко подпадает под категорию неклассной пшеницы в соответствии с СТ РК 1046-2008. Это позволяет использовать данные образцы как обоснованную тренировочную выборку для моделей машинного обучения, направленных на автоматическую классификацию зерна по качеству.

Таблица 1 - Характеристика пшеницы

№	Фото	Характеристика	Аналитическая оценка
1		пшеница мягкая 3 класса, эл-р Кенесары Астык, число падения-69; клейковина-29,6; идк-60; влажность-10,4; натура-800; протеин-15,3	Соответствует классу по белку, клейковине и натуре; низкое ЧП.
2		пшеница не кл, Тайыншы, число падения-88; клейковина-29,4; идк-50; влажность-10,4; натура-775; протеин-16,0	Хорошие показатели, кроме низкого ЧП.
3		пшеница мягкая, мучнистая, число падения-68; клейковина-26,0; идк-45; влажность-9,0; натура-753; протеин-15,4	Мучнистость ухудшает качество, ЧП низкое.

4		кх «казына» пшеница мягкая не кл., число падения-65; клейковина-21,0; идк-45; влажность-16,9; натура-710; протеин-11,0	Аномально низкий белок/клейковина, высокая влажность, низкая натура.
5		кх «жас талап» пшеница мягкая поле номер 1; клейковина-26,1; идк-80; влажность-13,3; натура-650; протеин-14,5	Очень низкая натура - главный критерий некласса.
6		акмол обл., (сапа) ТОО «Новокубанская», клейковина-24,2; идк-52; влажность-21,0; натура-734; протеин-12,4	Проблемы: высокая влажность, низкий белок.
7		ТОО «SAPA-Grain» тюльпан сорный, клейковина-34,4; идк-77; влажность-12,1; натура-755; протеин-16,6	Высокие показатели качества, но наличие сорности снижает класс.

Предварительная обработка изображений. Были собраны и проиллюстрированы изображения всех исследуемых зерновых образцов. Для каждой фотографии автоматически определялись ключевые визуальные характеристики: цветовая гистограмма, контурные парамет-

ры, геометрические особенности и показатели текстуры. Первичный этап анализа выявил заметные различия в наглядных признаках у зерна с низким и высоким содержанием клейковины, а также по уровню натуры.

Подготовка к обучению модели. На основе собранных данных был сформирован учебный комплект, включающий 80% изображений, и тестовый - 20%. Произведена трансформация и нормализация входных данных. На данном этапе идет разработка архитектуры CNN, она даст возможность обучение модели классификации зерна по визуальному образу с дальнейшей валидацией результатов на независимой выборке.

Архитектура модели ИИ и теоретическое обоснование выбора. Для классификации изображений зерна была выбрана свёрточная нейронная сеть (CNN) архитектуры ResNet-34, относящаяся к семейству остаточных сетей (Residual Networks). Данный выбор обусловлен сочетанием высокой точности, устойчивости к переобучению и умеренной вычислительной сложности, что делает модель пригодной для последующей промышленной интеграции

Полученные результаты подтверждают высокую степень вариативности качественных характеристик неклассной пшеницы, собранной в регионах Казахстана в 2024 году.

Обнаруженные различия по основным физико-химическим параметрам, таким как содержание белка, клейковины и натура, свидетельствуют о неоднородности зерновой массы, это вызывает сложности при сортировке и определении рыночной стоимости продукции. А в условиях засушливого климата и нестабильной урожайности, которая наблюдалась в северных регионах страны в последние годы данная проблема становится особенно актуальной.

База данных, которая была собрана в процессе изучения, содержащие фотографии зерна и сопоставленные с ними лабораторные показатели, является для казахстанского аграрного сектора уникальным инструментом. Она не только дает возможность для построения интеллектуальных систем оценки качества, но и закладывает основу для последующих изучений в области компьютерного зрения в агропромышленности.

Кластеризация помогла условно распределять образцы по совокупности качественных признаков, что показывает наличие закономерностей, которые можно уловить как с помощью лабораторных методов, так и при визуальном анализе.

Это подтверждает, что применение технологий искусственного интеллекта, в частности сверточных нейросетей, перспективно для автоматического распознавания и классификации зерна по фотографиям. Интересным результатом стало выявление связи между внешними признаками зерна и его физико-химическими характеристиками. Это даёт основание предположить, что оценка качества по изображениям может стать удобной альтернативой лабораторным методам, особенно там, где не хватает ресурсов или важна скорость диагностики.

Однако исследование имеет и свои ограничения. В первую очередь - небольшой размер выборки (всего 50 образцов). Кроме того, модель нужно доработать, чтобы она лучше учитывала разные сорта, регионы и условия выращивания. При практическом применении важно обращать внимание на такие факторы, как освещение, качество камеры и параметры съёмки.

В итоге работа показывает, что использование ИИ в агроаналитике реально и может стать основой для создания системы оценки качества неклассной пшеницы в Казахстане. В дальнейшем планируется расширить базу данных, обучить модель на более широком наборе образцов и создать удобный интерфейс для её внедрения в производство.

Выводы. С данными, полученными в итоге проведенного исследования, была создана уникальная база, сочетающая цифровые изображения зерна неклассной пшеницы урожая 2024 года с соответствующими им физико-химическими характеристиками. В ходе анализа выявлена значительная доля колебаний качественных характеристик пшеницы, исходя из чего подчеркнута необходимость совершенствова-

ния и улучшения средств диагностики качества пшеницы, адаптируя их к более точному и оперативному анализу данных.

Проведенная предварительная классификация пшеничных образцов выявила основные внутренние закономерности между визуальными признаками и лабораторными показателями. Применение таких методов искусственного интеллекта, как сверточные нейронные сети, является разумной практикой для создания модели оценки качества и функционирующей системы оценки качества зерен в реальном времени.

Последующие шаги исследования включают расширение объема образцов, а также создание прототипа программного обеспечения, способного проводить анализ качества зерна в режиме реального времени. Это развитие даст возможность оптимизировать функционирование пищевого производства, повысить качество конечного продукта и укрепить позиции Казахстана на мировых зерновых рынках.

Литература

1. Министерство сельского хозяйства Республики Казахстан. *Аналитический отчёт о реализации мер АПК* -Астана: МСХ РК. -2025. URL: https://www.gov.kz/uploads/2025/4/24/71c8850798445fc0aeb09fa162547698_original.169458.pdf. -Дата обращения: 22.07.2025.

2. Токаев К.-Ж. Речь на первом форуме работников сельского хозяйства // Официальный сайт Президента Республики Казахстан. -2024. URL: https://www.akorda.kz/ru/speeches. - Дата обращения: 22.07.2025.

3. Chlingaryan A., Sukkarieh S., Whelan B. Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: A review // Computers and Electronics in Agriculture. -2018. -Vol.151. -P.61-69. DOI 10.1016/j.compag.2018.05.012.

4. Moghimi A., Yang C., Anderson J.A. Aerial hyperspectral imagery and deep neural networks for high-throughput yield phenotyping in wheat // arXiv preprint. -2019. -arXiv:1906.09666. DOI 10.48550/arXiv.1906.09666.

5. Barbedo J.G.A. A Review of Artificial Intelligence Techniques for Wheat Crop Monitoring and Management // Agronomy. -2025. -Vol.15(5): 1157. DOI 10.3390/agronomy15051157.

6. Qi X., Zhang S., Wang L., Hu X., Zhang H., Feng W., Wang C., Guo T., He L. Classification of different gluten wheat varieties based on hyperspectral data transformation, feature screening, and machine learning // Food Chemistry: X. -2025. -Vol.26: 102329. DOI 10.1016/j.fochx.2025.102329.

7. Freitag S., Anlanger M., Lippl M., Mechtler K., Reiter E., Grausgruber H., et al. Simplifying Wheat Quality Assessment: Using Near-Infrared Spectroscopy and Analysis of Variance Simultaneous Component Analysis to Study Regional and Annual Effects // ACS Measurement Science Au. -2024. -Vol.4(6). -P.695-701. DOI 10.1021/acsmeasuresciau.4c00044.

8. Дашкевич С.М., Бабкенов А.Т., Утебаев М.У., Чилимова И.В., Крадецкая О.О. Качество зерна сортов яровой мягкой пшеницы селекции ТОО «НПЦ ЗХ им. А.И. Бараева» // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина (междисциплинарный). -2018. -№ 3 (98). -С.47–56.

9. АО «Казгидромет». Обзор об особенностях климата на территории Казахстана за 2024 год. - Астана: РГП «Казгидромет». -2025. URL: https://www.kazhydromet.kz/uploads/calendar/280/year_file_en/682ca255cbcd6obzor-osobennostey-klimata_kazahstan-za-2024_rus.pdf. -Дата обращения: 22.07.2025.

10. СТ РК 1046-2008. Пшеница. Общие технические условия. -2008. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30615865&pos=16;-58#pos=16;-58. -Дата обращения: 22.07.2025.

References

1. Ministerstvo sel’ skogo hozjajstva Respubliki Kazahstan. Analiticheskij otchjot o realizacii mer APK -Astana: MSH RK. -2025. URL: https://www.gov.kz/uploads/2025/4/24/71c8850798445fc0aeb09fa162547698_original.169458.pdf - Date of access: 22.07.2025. [in Russian]

2. Tokaev K.-Zh. Rech’ na pervom forume rabotnikov sel’ skogo khozyaistva // Ofitsial’ nyi sait Prezidenta Respubliki Kazakhstan. -2024. URL: https://www.akorda.kz/ru/speeches. - Date of access: 22.07.2025. [in Russian]

3. Chlingaryan A., Sukkarieh S., Whelan B. Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: A review // Computers and Electronics in Agriculture. -2018. -Vol.151. -P.61-69. DOI 10.1016/j.compag.2018.05.012.

4. Moghimi A., Yang C., Anderson J.A. Aerial hyperspectral imagery and deep neural networks for high-throughput yield phenotyping in wheat // arXiv preprint. -2019. -arXiv:1906.09666. DOI 10.48550/arXiv.1906.09666.

5. Barbedo J.G.A. A Review of Artificial Intelligence Techniques for Wheat Crop Monitoring and Management // Agronomy. -2025. -Vol.15(5): 1157. DOI 10.3390/agronomy15051157.

6. Qi X., Zhang S., Wang L., Hu X., Zhang H., Feng W., Wang C., Guo T., He L. Classification of different gluten wheat varieties based on hyperspectral data transformation, feature screening, and machine learning // Food Chemistry: X. -2025. -Vol.26: 102329. DOI 10.1016/j.fochx.2025.102329.

7. Freitag S., Anlanger M., Lippl M., Mechtler K., Reiter E., Grausgruber H., et al. Simplifying Wheat Quality Assessment: Using Near-Infrared Spectroscopy and Analysis of Variance Simultaneous Component Analysis to Study Regional and Annual Effects // ACS Measurement Science Au. -2024. -Vol. 4(6). -P.695-701. DOI 10.1021/acsmeasuresciau.4c00044.

8. Dashkevich S.M., Babkenov A.T., Utebaev M.U., Chilimova I.V., Kradetskaya O.O. Kachestvo zerna sortov yarovoi myagkoi pshenitsy selektsii TOO ’ NPTs ZKh im. A.I. Baraeva’ // Vestnik nauki Kazakhskogo agrotekhnicheskogo universiteta im. S. Seifullina (mezhdistsiplinarnyi). -2018. -№ 3 (98). -S.47-56.

9. AO «Kazgidromet». Obzor ob osobennostjah klimata na territorii Kazahstana za 2024 god. - Astana: RGP «Kazgidromet». -2025. URL: https://www.kazhydromet.kz/uploads/calendar/280/year_file_en/682ca255cbcd6obzor-osobennostey-klimata_kazahstan-za-2024_rus.pdf. - Date of access: 22.07.2025. [in Russian]

10. ST RK 1046-2008. Pshenitsa. Obshchie tekhnicheskie usloviya. -2008. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30615865&pos=16;-58#pos=16;-58. - Date of access: 22.07.2025. [in Russian]

Сведения об авторах

Ким О.И. - магистрант, Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: kim_olyaaa@mail.ru;

Тарабаев Б.К. - кандидат технических наук, и.о. доцента, Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: tarabaev50@mail.ru;

Шаймерденова Д.А. - кандидат технических наук, ученый секретарь, Казахский научно-исследовательский институт переработки сельскохозяйственной продукции, Астана, Казахстан, e-mail: darigash@mail.ru;

Исмагулова А.Ж. - магистрант, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: ismagul03@mail.ru.

Information about the Authors

Kim O.I.- Master’s student, S.Seifullin Kazakh Agro Technical University, Astana, Kazakhstan, e-mail: kim_olyaaa@mail.ru;

Tarabayev B.K. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (acting), S.Seifullin Kazakh Agro Technical University, Astana, Kazakhstan, e-mail: tarabaev50@mail.ru;

Shaimerdenova D.A. - Candidate of Technical Sciences, Scientific Secretary, Kazakh Research Institute for Agricultural Products Processing, Astana, Kazakhstan, e-mail: darigash@mail.ru;

Ismagulova A.Zh. - Master’s student, S.Seifullin Kazakh Agro Technical University, Astana, Kazakhstan, e-mail: ismagul03@mail.ru.

МРНТИ 65.33.03 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1239**

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СОСТАВА ЗЛАКОВЫХ КУЛЬТУР С МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

М.Т. Агедилова, Ж.Т. Ботбаева, А.М. Омаралиева

АО «Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова», Астана, Казахстан

Корреспондент-автор: amt5@yandex.ru

В статье рассматривается исследование качества и подлинности сырья пшеничной, рисовой и гречневой муки, а также рисовой и гречневой мучки с помощью методом ИК-Фурье спектроскопии. Применение такой молекулярной оптической спектроскопии как ИК-спектр в пищевых отраслях в целях структурно-группового анализа и полной идентификации чистых веществ и малокомпонентных смесей, и определения их концентраций имеет большую значимость. Инфракрасная спектроскопия дает возможность установить строение молекул различных пищевых продуктов, которые содержат органические и неорганические вещества. По числу и положению пиков в ИК-спектрах поглощение можно судить о характеристике веществ (качественные анализ), а по интенсивности полос поглощения - о количестве веществ (количественный анализ). Максимум ИК-поглощения: рисовая и гречневая - 2925,7 см ^{1}, пшеничная - 2927,7 см ^{1} (–CH_2–). Смещение отражает различия в структуре и межмолекулярных взаимодействиях. ИК-спектры позволяют различать виды муки и оценивать состав белков и крахмала.

Цель исследования - применение метода ИК-Фурье спектроскопии для анализа химического состава пшеничной, рисовой и гречневой муки и мучки с выявлением характерных полос поглощения, соответствующих различным функциональным группам, что позволит провести сравнительный составной анализ и оценить их пищевую ценность.

Ключевые слова: ИК-спектроскопия, пшеница, рисовая и гречишная мука, рисовая и гречишная мучка.

ИҚ-СПЕКТРОСКОПИЯСЫ АРҚЫЛЫ ДӘНДІ ДАҚЫЛДАРДЫҢ ҚҰРАМЫН АНЫҚТАУ

М.Т. Агедилова, Ж.Т. Ботбаева, А.М. Омаралиева

«Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті» АҚ, Астана, Қазақстан, e-mail: amt5@yandex.ru

Мақалада ИҚ-спектроскопиясы әдісімен бидай, күріш және қарақұмық ұнының, сондай-ақ күріш пен қарақұмық ұнының шикізатының сапасы мен түпнұсқалығын зерттеу қарастырылған. Тамақ өнеркәсібінде ИҚ-спектрі сияқты молекулалық оптикалық спектроскопияны құрылымдық-топтық талдау және таза заттар мен төмен компонентті қоспаларды толық анықтау және олардың концентрациясын анықтау мақсатында қолданудың маңызы зор.

Инфрақызыл спектроскопия құрамында органикалық және бейорганикалық заттар болуы әртүрлі тағам өнімдерінің молекулаларының құрылымын анықтауға мүмкіндік береді.

ИҚ-спектрінде жұтылу шыңдардың саны мен орнын заттардың сипаттамаларын бағалау үшін (сапалық талдау), ал жұту жолақтарының қарқындылығын заттардың санын бағалау үшін пайдалануға болады (сандық талдау). Максималды инфрақызыл сіңіру: күріш пен қарақұмық - 2925,7 см ^{1}, бидай - 2927,7 см ^{1} (–CH_2–) бұл ауысу құрылымдағы және молекулааралық әрекеттесудегі айырмашылықтарды көрсетеді. ИҚ-спектрлері ұн түрлерін ажыратуға және белок пен крахмал құрамын бағалауға мүмкіндік береді.

Зерттеудің мақсаты бидай, күріш және қарақұмық ұнының және қарақұмық жармасының химиялық құрамын талдау үшін ИҚ-спектроскопия әдісін қолдану болды, әртүрлі функционалды топтарға сәйкес келетін тән сіңіру жолақтарын анықтау, бұл салыстырмалы композициялық талдауға және олардың тағамдық құндылығын бағалауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: ИҚ-спектроскопия, бидай, күріш және қарақұмық ұны, күріш және қарақұмық ұн ұнтағы.

IDENTIFICATION OF THE COMPOSITION OF CEREAL CROPS USING IR SPECTROSCOPY

M.T. Agedilova✉, J.T. Botbayeva, A.M. Omaraliyeva

JSC "K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business", Astana, Kazakhstan, e-mail: amt5@yandex.ru

The article examines the study of the quality and authenticity of raw materials of wheat, rice and buckwheat flour, as well as rice and buckwheat flour using the method of IR- spectroscopy. The use of molecular optical spectroscopy, such as IR spectrum in the food industry for the purposes of structural-group analysis and complete identification of pure substances and low-component mixtures and determination of their concentrations is of great importance.

Infrared spectroscopy makes it possible to determine the structure of molecules of various food products that contain organic and inorganic substances.

The number and position of peaks in the IR absorption spectra can be used to judge the characteristics of substances (qualitative analysis), and the intensity of absorption bands can be used to judge the quantity of substances (quantitative analysis). Maximum IR absorption: rice and buckwheat – 2925.7 cm ^{1}, wheat – 2927.7 cm ^{1} (–CH_2–). The shift reflects differences in structure and intermolecular interactions. IR spectra allow us to distinguish between flour types and assess the protein and starch composition.

The aim of the study was to use the IR-spectroscopy method to analyze the chemical composition of wheat, rice and buckwheat flour and buckwheat meal, identifying characteristic absorption bands corresponding to different functional groups, which will allow for a comparative compositional analysis and assessment of their nutritional value.

Keywords: IR spectroscopy, wheat, rice and buckwheat flour, rice and buckwheat flour.

Введение. Современные тенденции в пищевой промышленности требуют внедрения высокоэффективных и неразрушающих методов анализа для оценки качества сырья и готовой продукции. Инфракрасная спектроскопия (ИКС) является одним из таких методов, позволяющим быстро и точно определять химический состав продуктов питания. Особенно актуально применение ИКС для анализа муки и мучных изделий, поскольку это позволяет оценить содержание углеводов, белков, жиров и других компонентов, что непосредственно влияет на питательную ценность и технологические свойства продукции.

В последние годы все большее распространение в исследовании качества и подлинности сырья и продуктов находит метод ИК-Фурье спектроскопии. Спектральный анализ является физическим методом, который определяет качественный и количественный анализ состава вещества на основе изучения спектров [1]. Глубокое обучение становится всё более популярным инструментом в различных научных областях. В области инфракрасной спектроскопии, где идентификация функциональных групп в неизвестных соединениях представляет собой серьёзную проблему, растёт потребность в инновационных подходах к оптимизации и совершенствованию процессов анализа. В данном исследовании представлена иидентификация состава злаковых культур: риса и гречихи, а также их «полуфабрикатов» - рисовой муки и мучки, гречишной муки и мучки с методом ИК-спектроскопии.

В настоящее время в питании человека все большее внимание уделяется производству пищевых продуктов питания, обогащенных различным сырьем, богатым биологически активными веществами. По экономическим соображениям пищевые предприятия могут фальсифицировать содержание в продуктах различными добавками, которые являются более дешевыми ингредиентами. Решение проблемы обнаружения

фальсификации сырья в продуктах требует соответствующих методов идентификации, направленных на достижение безопасности и качества реализуемого сырья и пищевой продукции. Важной задачей является разработка объективных методов идентификации видовой принадлежности компонентов, входящих в состав сырья и готовых продуктов. Метод ИК-спектроскопия имеет ряд преимуществ, так как можно исследовать любые образцы, в любой форме и агрегатном состоянии - твердые и жидкие, порошки и пасты, гранулы, суспензии, волокна и т.д. [2].

ИК-Фурье спектроскопия идентифицирует значения характеристических частот в спектре, соответствующих химическому составу образца, и определяют сравнительную подлинность пищевого готового продукта или сырья по табличным спектральным данным для эталонного образцового сырья.

Экспериментальным результатом в ИК-спектроскопии является инфракрасный спектр (ИК-спектр) - функция интенсивности пропущенного инфракрасного излучения от его частоты. Инфракрасная спектроскопия дает возможность установить строение молекул различных пищевых продуктов, которые содержат органических и неорганических веществ. По числу и положению пиков в ИК-спектрах поглощения можно судить о характеристике веществ (качественный анализ), а по интенсивности полос поглощения - о количестве веществ (количественный анализ). Так как в инфракрасной области расположено большинство колебательных и вращательных спектральных данных изучаемых образцов.

Применение молекулярной оптической спектроскопии как ИК-спектр в пищевых отраслях в целях структурно-группового анализа и полной идентификации веществ и малокомпонентных смесей, и определения их концентраций имеет большую значимость [3].

Существенная роль ИК-спектроскопии в анализе пищевых продуктов и сырья объясняется тем, что качественная интерпретация спектров достаточно проста. При интерпретации колебательных спектров пищевых продуктов и сырья очень важным приближением является анализ характеристических частот колебаний, т.е. таких колебаний, которые можно отнести к определенной группе атомов независимо от того, какой макромолекуле эта группа принадлежит [4].

Исследование объектов - пищевых продуктов в ИК-спектре дает возможность связать частоты поглощения с наличием в образце определённых молекулярных фрагментов в экспериментальной информации.

Целью исследований является применение метода ИК-Фурье спектроскопии для анализа химического состава пшеничной, рисовой и гречневой муки, а также их мучки. Исследование направлено на выявление характерных полос поглощения, соответствующих различным функциональным группам, что позволит провести сравнительный анализ состава и оценить пищевую ценность этих продуктов.

Методы и материалы. Объектами исследования являются следующие отобранные образцы: пшеничная мука (контрольный образец), рисовая мука, гречневая мука и их мучки - рисовая мучка и гречневая мучка. Целью исследования является определение химических функциональных групп в этих образцах с использованием инфракрасной спектроскопии (ИКС), что позволяет идентифицировать их состав и оценить качество продуктов и сырья.

Объектом экспериментального исследования является сорт пшеницы «Мирас 07», выведенный Казахским НИИ земледелия и растениеводства, а также мука из этой пшеницы. Данный сорт предназначен для пищевых целей. Урожай пшеницы «Мирас 07» в летнем посеве составил 22,3 ц/га, а в осеннем посеве - 29,0 ц/га. По уровню урожайности он превосходит лучшие районированные сорта зерновых. Отбор зерна проводился по ГОСТ 5904-82. В работе использовались следующие методы: ГОСТ 10846-91 - зерно и продукты его переработки, метод определения белка - ГОСТ 29033-91, определение массовой доли жира - СТ РК 1054-2002 [5, 6].

Спектры исследованных образцов были зарегистрированы с использованием ИК-Фурье

спектрометра в таблетках с KBr.

Применение метода ИК-Фурье спектроскопии позволяет эффективно исследовать химический состав пищевых культур и продуктов их переработки, что особенно важно для оценки качества сырья и готовой продукции в кондитерской и хлебопекарной промышленности.

Во всех спектрах исследованных образцов наблюдаются характерные полосы поглощения, отражающие их химический состав и позволяющие проводить идентификацию основных компонентов, таких как углеводы, белки и липиды.

Обсуждение и результаты. Метод ИК-спектроскопии основан на поглощении электромагнитного излучения инфракрасного диапазона молекулами изучаемого вещества, при котором происходит возбуждение колебательных и вращательных состояний. Измеряя частоты поглощения электромагнитного излучения молекул в инфракрасной области, можно определить параметры молекул - частоту колебаний атомов, например, в исследуемых образцах аппарат показывает интенсивные сигналы валентных колебаний (ν_{as} и ν_{s}) метиленовой группы = CH_2 у пшеничной муки (709,2 $см^{-1}$ и 2927,7$см^{-1}$), рисовой муки (710,9 $см^{-1}$ и 2925,7 $см^{-1}$), гречневой муки (710,0 $см^{-1}$ и 2927,7$см^{-1}$). Таким образом, можно увидеть аналогичное расстояние между атомами и осью вращения, а также интенсивность расщепления функциональных групп.

Межмолекулярное взаимодействие в ИК-спектре влияет на изменение характеризующей энергии связей атомов в молекуле, так, может происходить исчезновение вращательной структуры, расширение диапазона полос к смещению частоты в спектре. Основные диагностические различия между рисовой, пшеничной и гречневой мукой в ИК-спектрах проявляются в областях спектра, а именно: в области 3000-2800 $см^{-1}$, соответствующей валентным колебаниям С–Н в липидах; в области 1700–1600 $см^{-1}$, где наблюдаются колебания С=О и амидных групп белков; в области 1200-900 $см^{-1}$, характерной для углеводов и крахмалов (колебания связей С–О, С–С, С–Н).

В молекулах, на ИК-спектрах, межмолекулярные водородные связи оказывают заметное влияние: во-первых, они приводят к ослаблению О–Н связей, а во-вторых - к снижению частоты колебаний других N–H связей, что проявляется в виде расширения полос поглощения в спектре.

Особое внимание уделялось области длинноволнового ИК-диапазона (менее 400 $см^{-1}$, в ряде случаев - менее 300 $см^{-1}$), поскольку в этом спектральном интервале фиксируются колебания, связанные с кристаллической решёткой материала. Низкочастотные полосы в спектре указывают на степень упорядоченности структуры вещества и наличие кристаллической решётки в образце. В области около 2925-2928 см ^{1} наблюдаются характерные полосы поглощения, обусловленные валентными колебаниями С–Н связей в метиленовых группах ($–CH_2–$).

Установлено, что для рисовой и гречневой муки максимум полосы поглощения фиксируется при 2925,7 см ^{1}, для пшеничной муки - при 2927,7 $см^{-1}$. Эти полосы соответствуют асимметричным (ν_as) и симметричным (ν_s) валентным колебаниям метиленовых групп ($=CH_2$). Небольшое смещение полосы поглощения в сторону более высоких частот в случае пшеничной муки может быть связано с различиями в молекулярной упаковке, степени насыщенности углеводородных цепей или интенсивностью межмолекулярных взаимодействий.

Наблюдаемые в образцах сырья (рисовой, гречневой и пшеничной муки) близкие между собой сигналы спектра полосы поглощения группы молекулярных фрагментов отличаются по интенсивности (таблица 1).

Таблица 1 - Сравнительный анализ полос поглощения зерновых культур в ИК-спектрах

Пшеничная мука	Рисовая мука	Гречневая мука	Интерпретация ИК-спектров по характерным колебаниям групп

Область прозрачности, мкм (см$^{-1}$)			
		444,7 водородные связи, деформационные колебания углеродного скелета	
	528,3		
571, 9	571,8	565,0	
709,2	710,9	710,0	валентные колебания (*v*as и *v*s) метиленовой группы = CH2
763,8	764,4	762,0	маятниковые колебания метиленовых групп, валентные колебания углеродного скелета
859,7валентные колебания углеродного скелета		860,1 валентные колебания углеродного скелета	
929,5	928,9	928,9	валентные колебания углеродного скелета,характерного для углеводов и крахмалов (колебания связей C–O, C–C, C–H).
1019,1	1018,3	1018,3	C—N-связи в скелетных колебаниях, алифатические амины
1062,7	1081,2	1081,2	C—N-связи в скелетных колебаниях, алифатические амины
1157,1	1158,1	1158,1	C—N-связи в скелетных колебаниях, алифатические амины
	1243,5	1243,5	алифатические амины
1362,3 C—N-связи в скелетных колебаниях	1384,3 симметричному колебанию (δs)*гем*-диметильной группы	1384,3 симметричному колебанию (δs)	деформационные колебанияC—H-связей,C—N-связи в скелетных колебаниях
1421,3	1460,0 асимметричному деформационному колебанию метильных групп (δαs)	1460,0 асимметричному деформационному колебанию метильных групп (δαs)	асимметричному колебанию метильных групп (δαs)
1539,0			
1659,2	1630,6 ;1660,3	1630,6;1660,3	сопряжение двух связей C=O, валентные колебания связей N—H(наблюдаются колебания C=O и амидных групп белков)
	2161,2	2161,2	

2361,5			C-O
2927,8	2925,7	2925,7	валентные колебания (*v* as и *v*s) метиленовой группы = CH2 в липидах
3207,7	3203,6	3203,6	вторичных амидов, валентные колебания связей N—H
3295,7 Транс-изомер	3291,8 Транс-изомер	3291,8 Транс-изомер	вторичных амидов, валентные колебания связей N—H
3443,2 Транс-изомер	3444,4 Транс-изомер	3444,4 Транс-изомер	свободной аминогруппы
	3521,6	3521,6	свободной аминогруппы
	3597,9	3597,9	
3622,3	3620,9	3620,9	
3696,3			

На основе данных ИК-спектроскопии были выявлены значительные различия в полосах поглощения между образцами пшеничной муки и образцами рисовой и гречневой муки. Пшеничная мука содержит в своём составе: крахмал (основной углевод), простые сахара (глюкоза, мальтоза), белки (главным образом глютен), клетчатку, липиды (в небольшом количестве). На рисунке 1 представлена спектрограмма образца 1 - пшеничной муки (контрольный образец).

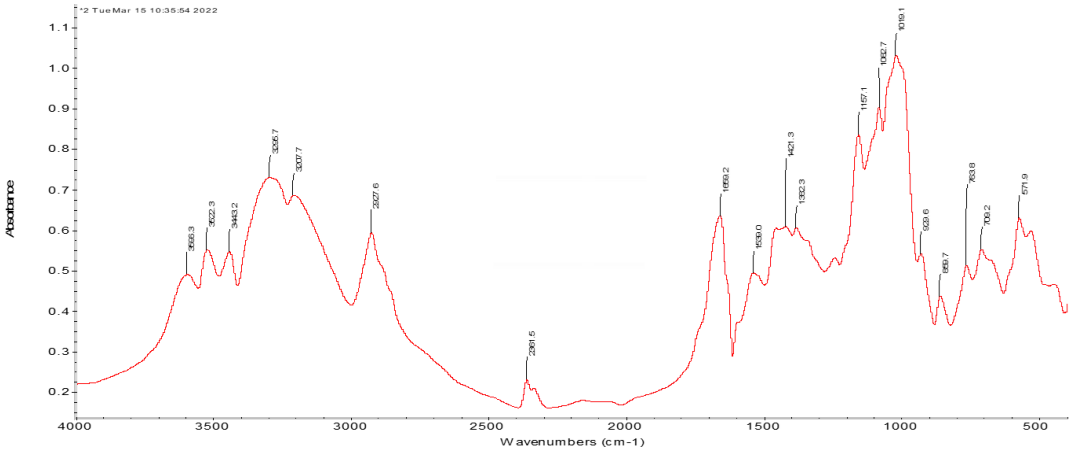


Рис.1 - ИК-спектрограмма пшеничной муки (контрольный образец)

В ИК-спектре пшеничной муки полосы поглощения в области 929,5–1157,1 см$^{-1}$ относятся преимущественно к валентным и деформационным колебаниям C–O, C–C, C–H связей, характерным для структурных элементов крахмала и других углеводов. Полоса поглощения при 929,5 см$^{-1}$ соответствует деформационным колебаниям C–H в углеводных кольцах, характерным для полисахаридов (крахмала, целлюлозы), и указывает на наличие α-глюкозидных связей в структуре крахмала.

Полоса поглощения при 1019,1 см$^{-1}$ обусловлена валентными колебаниями C–O и C–O–C связей, характерных для крахмала, простых сахаров и гликозидных соединений, и отражает наличие гликозидных связей и углеводов в образ-

цах пшеничной, рисовой и гречневой муки.

Полоса поглощения при 1062,7 см$^{-1}$ обусловлена валентными колебаниями С–О–Н и С–С связей, характерных для полисахаридов, включая амилозу и амилопектин, и отражает внутреннюю структуру крахмала, при этом её интенсивность коррелирует с их концентрацией в образцах в виде узких хороших сигналов.

Полоса поглощения при 1157,1 см$^{-1}$ связана с валентными колебаниями С–О–С, а также сочетающимися колебаниями С–С–Н и С–О–Н, характерными для полисахаридов и сахаров в образцах, и отражает наличие структурных фрагментов крахмала, других углеводов, а также, возможно, пентозанов, присутствующих в оболочках зерна.

Полоса поглощения при 1243,5 см$^{-1}$ наблюдается только в спектрах рисовой и гречневой муки, тогда как в пшеничной муке она отсутствует, что, вероятно, связано с различиями в составе полисахаридов или присутствием специфических функциональных групп, характерных для риса и гречки, но не представленных в значительном количестве в пшенице.

Особенно выраженные полосы при 1019,1 и 1062,7 см$^{-1}$ указывают на значительное содержание амилозы и амилопектина, составляющих основу крахмальной фракции. Пик при 929,5 см$^{-1}$ связан с глюкозидными циклами, а полоса на 1157,1 см$^{-1}$ может свидетельствовать о наличии других углеводов и гликозидных компонентов.

В спектрах образца пшеничной муки полоса при 1362,3 см$^{-1}$ свидетельствует о С–N-связях в скелетных колебаниях белковых фракций, тогда как в спектрах рисовой и гречневой муки аналогичная полоса (например, при 1384,3 см$^{-1}$) относится к симметричному (δ_s) изгибу – CH_3-групп, и в обоих случаях эти полосы указывают на присутствие алкильных фрагментов (CH_3/CH_2) и азотсодержащих компонентов (аминогрупп) в белковой части муки. На рисунке 2 показана спектрограмма образца 2 - рисовой муки.

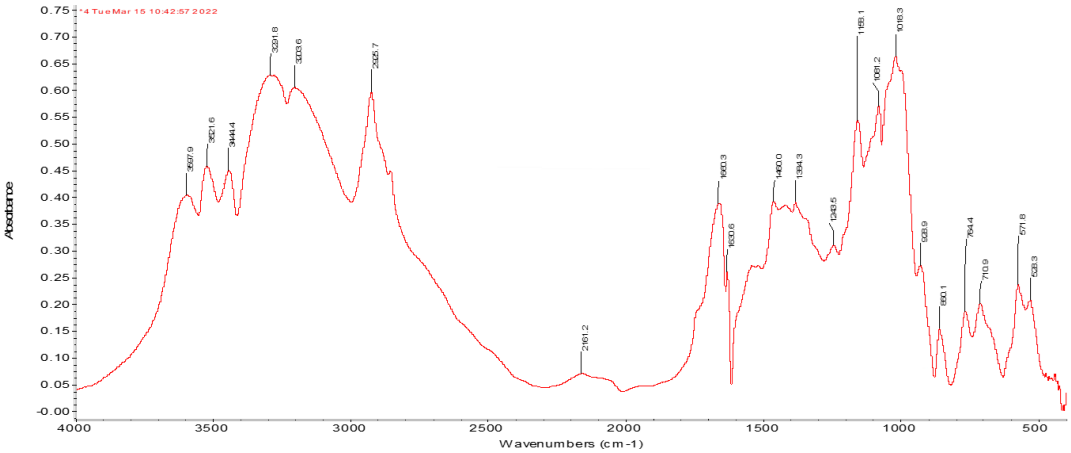


Рис.2 - ИК-спектрограмма рисовой муки

Полоса поглощения при 1243,5 см $^{-1}$ наблюдается только в спектрах рисовой и гречневой муки, тогда как в пшеничной муке она отсутствует, что, вероятно, связано с различиями в составе полисахаридов или присутствием специфических функциональных групп, характерных для риса и гречки, но не представленных в значительном количестве в пшенице.

В области 2925,7 см $^{-1}$ образцы рисовой и гречневой муки демонстрируют более выраженные полосы поглощения по сравнению с контрольным образцом пшеничной муки. Усиление интенсивности в данной области связано с присутствием большего количества метиленовых (–CH_2–) групп в составе углеводородных цепей.

Это обусловлено различиями в химическом

составе исследуемых образцов. Рисовая мука характеризуется повышенным содержанием полиненасыщенных жирных кислот, что объясняет высокую интенсивность валентных колебаний C–H связей.

Гречневая мука - это псевдозлак, её мука безглютеновая, что отличает её от пшеничной муки по структуре белков. Углеводная структура гречневой муки характеризуется более широкой температурой желатинизации и высоким содержанием устойчивого крахмала, что замедляет переваривание углеводов. Она также богата клетчаткой и не перевариваемыми полисахаридами (в том числе пентозанами). Все исследованные образцы муки содержат значительное количество углеводов (около 70-79 % по массе), включая сахар, крахмал и декстрин, что оказывает влияние на их ИК-спектральные характеристики. На рисунке 3 представлена спектрограмма образца 3 - гречневой муки, где отмечаются характерные полосы, отличающие её от других исследуемых образцов.

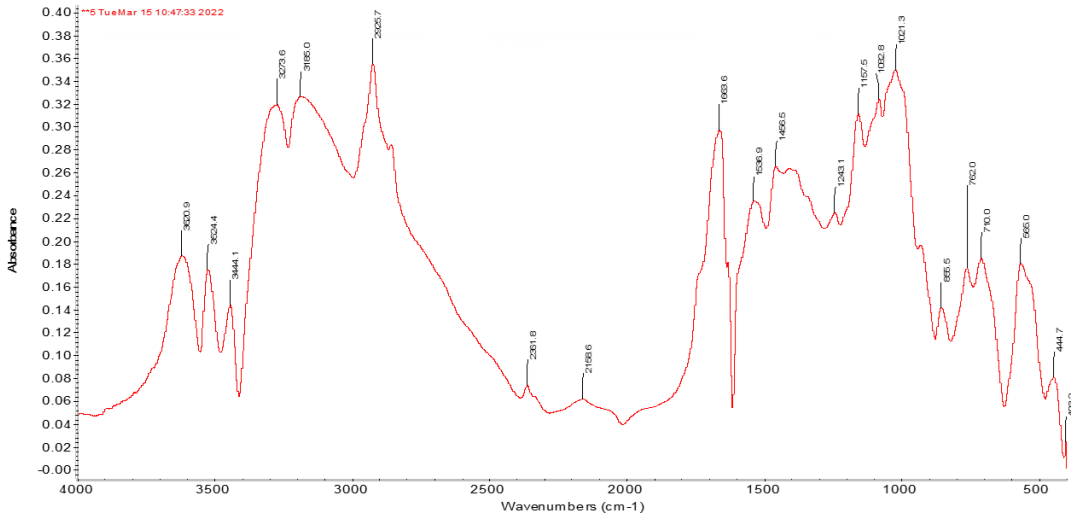


Рис.3 - ИК-спектрограмма гречневой муки

Только у гречневой муки при 444,7 $см^{-1}$ области полосы поглощения обнаружены колебания водородных связей, это объясняется тем, что в ИК-спектроскопии часто отражаются колебания скелетной структуры молекулы, и тем, что гречневая мука богата полифенолами (например, рутином), которая содержит необычные углеводы и большое количество клетчатки, что может объяснять уникальность данной полосы.

Полосы поглощения при 1421,3 $см^{-1}$ и 1460 $см^{-1}$ в ИК-спектре образцов пшеничной, рисовой и гречневой муки ассоциируются с изгибными (деформационными) колебаниями C–H в метильных и метиленовых группах (δ CH_3, δ CH_2) и часто встречаются в спектрах углеводородных цепей и белковых компонентов. С точки зрения химического состава и пищевой ценности эти полосы характеризуют присутствие углеводородных фрагментов (алкановых групп) в молекулах крахмала, белков и липидов. Их интенсивность может косвенно свидетельствовать о количестве этих групп в образце, т.е. о степени насыщенности алкильных звеньев в углеводных и белковых фракциях муки [4].

В образцах пшеничной, рисовой и гречневой муки полосы поглощения в диапазоне 1630–1660 $см^{-1}$ интерпретируются как амид (C=O валентные колебания пептидной связи), что свидетельствует о присутствии белковых фракций (глютен, альбумины, глобулины), причем смещение частоты и интенсивность полосы отражают различия во вторичной структуре белков (α-спираль, β-слои).

В ИК-спектрах полоса поглощения валентного колебания C-O проявляется в образце при

2361,5 $см^{-1}$ либо очень слабо, даже может отсутствовать, потому что является в этих областях в виде фонового сигнала, а не как диагностический признак для сравнения риса и пшеницы, гречневой муки.

Широкие полосы в диапазоне 3500–3200 $см^{-1}$ характерны для гидроксильных групп (O–H) в образцах пшеничной, рисовой и гречневой муки, особенно когда они участвуют в водородных связях - это приводит к снижению частоты и расширению полосы. Наличие гипотетических гидроксильных и аминогрупп (C–N) в структуре исследуемых образцов повышает их полярность и улучшает взаимодействие с водой и маслом, что способствует формированию стабильных мучных эмульсий.

Полосы поглощения при 3622,3 $см^{-1}$ и 3669 $см^{-1}$ в ИК-спектрах пшеничной, рисовой и гречневой муки соответствуют растяжениям O–H свободных или слабо связанных гидроксильных групп и свидетельствуют о присутствии гидроксилов (в углеводах, моносахаридах или влаге), не вовлечённых в сильные водородные связи.

Далее в работе рассматривался сравнительный анализ рисовой и гречневой муки с их мучками.

Рисовая и гречневая мучка - это побочные продукты зерна переработки, состоящие преимущественно из оболочек, зародышей и мелких частиц, удалённых при шлифовке или дроблении, они сильно отличаются по составу и назначению от муки, получаемой из очищенного ядра зерна. Мучка используется преимущественно в кормовых целях, хотя содержит питательные вещества - белки, жиры, клетчатку и минералы. В то же время рисовую и гречневую муку получают из очищенного зерна, они предназначены для пищевого потребления человеком, особенно в диетическом и безглютеновом питании, применяются в выпечке, загущении соусов и других технологических процессах [7].

В объекте рисовой мучки интенсивность полос поглощения видимых и не видимых диапазонов слабее, чем в рисовой муке и гречневой мучке. В таблице 2 показаны результаты исследования рисовой мучки в сравнении с эталоном.

Таблица 2 - Показатели ИК-спектров рисовой муки и рисовой мучки

Рисовая мука, $см^{-1}$	**Рисовая мучка, $см^{-1}$**	**Возможная группа / тип колебаний**	**Характеристика отражающих сигналов**
528,3			
571,8	562		
710,9			
764,4			
860,1			
928,9			
1018,3			
1081,2			
1158,1	1158,7		
1243,5			
13,84,3			

1460,0	1462,2	Деформационные (изгибные) колебания C–H (метилен / метильные группы)	Указывают на насыщенные алкильные фрагменты; типично для липидов и органических цепей
	1547,1	Возможно связаны с амидными / белковыми группами (амид II) или деформациями N–H / C–N	Наличие белковых компонентов или аминов, что говорит о белковой или азотной составляющей
1630,6			
1660,3	1742,4	Валентное колебание C=O (эфирные группы, липиды /жиры) (например, липидный компонент)	Присутствие эфирных/ жирных компонентов, что говорит о наличии липидов или сложных эфиров в образце
2161,2			
	2854,5	Валентные колебания C–H (алкановые цепи, метиленовые / метильные группы)	Свидетельствуют о наличии алифатических углеводородных участков (жиры, цепи углеводов) в образце
2925,7	2925,0		
	3196,8	Растяжения O–H / N–H (гидроксильные или аминогруппы), особенно связанные / водородные связи	Указывает на наличие гидроксильных групп (влажность, углеводы) или аминогрупп (белки) в образце
3203,6			
3291,8	3294,5		
3444,4	3444,5	Более высокочастотные растяжения O–H (свободные или слабосвязанные гидроксилы)	Подтверждают присутствие свободных гидроксильных групп (вода, углеводы), не участвуют или слабо участвуют в водородных связях
3521,6	3525,5		
3597,9			

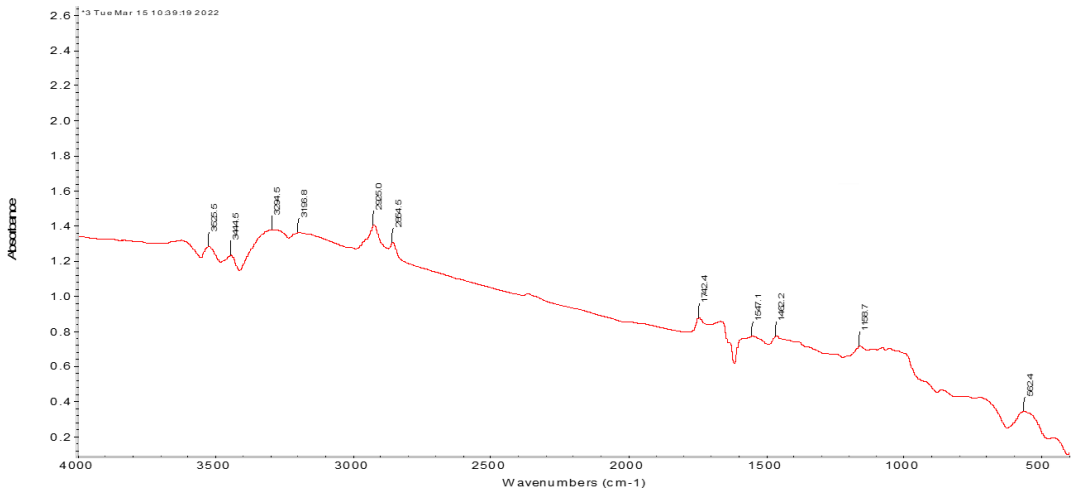


Рис.4 - ИК-спектрограмма рисовой мучки

По результатам исследований видно, что в области длинноволнового ИК-диапазона от 600 - 1000 $см^{-1}$ интенсивности полосы не отражаются, поскольку в этом спектральном интервале фиксируются колебания, связанные с кристаллической решёткой материала. Низкочастотные полосы в спектре указывают на степень упорядоченности структуры вещества и наличие кри-

сталлической решётки в образце - рисовой мучке, изменение скелета структуры зерна зависит от переработки. В образце рисовой мучки в этих полосах поглощений отсутствуют сигналы по сравнению с рисовой мукой, это говорит о том, что структура молекулы рисовой мучки при механическом воздействии сильно изменится, и это отвечает на колебания углеродного скелета молекулы.

В статье “A Comparative Investigation of the IR Spectra of a Carbohydrate Series” [8] отмечается, что в диапазоне 960–1060 $см^{-1}$ часто встречаются преобладающие линии, интерпретируемые как валентные колебания α-гликозидных связей и сочетания C–O, C–C, C–O–H. Это говорит о том, что полоса ~ 1018 $см^{-1}$ отнесена к таким группам [9].

В рисовой муке пик полосы поглощения во всех фрагментах имеет сплывчивый бугор, это объясняется тем, что механическое воздействие сильно влияет на снижение частоты изменением дисперсионной системы.

Полоса поглощения 1018 $см^{-1}$ показывает значения для валентных колебаний C–O/ C–O–C в крахмале и связанных углеводах.

В спектрах рисовой мучки по сравнению с гречневой мучкой многие характерные полосы почти исчезают или проявляются лишь как слабые пики или «бугры», что, вероятно, говорит о нарушении кристаллической решётки в ходе переработки зерна. Особенно выраженная полоса при ~ 1018 $см^{-1}$ указывает на значительное содержание амилозы и амилопектина - основных компонентов крахмальной фракции. Пик около 929,5 $см^{-1}$ соотносится с колебаниями глюкозидных циклов, а полоса при 1158,1 $см^{-1}$ может свидетельствовать о присутствии других углеводов и гликозидных соединений.

Полоса при 1742,4 $см^{-1}$ указывает на наличие эфирных или липидных компонентов, что может быть остатком жиров после обработки. Полоса 1462,2 $см^{-1}$ подтверждает присутствие насыщенных углеводородных групп, типичных для органических цепей. Полоса при 1547,1 $см^{-1}$ может указывать на амидные или аминогенные компоненты, т.е. белковые или азотсодержащие фракции, хотя эта интерпретация требует подтверждения дополнительными данными. Появление полос 2854,5 и 2925,0 $см^{-1}$ говорит о существенном содержании алкильных участков - метиленов и метильных групп - что характерно как для липидов, так и для углеводородных цепей углеводов.

Полосы 3196,8, 3294,5, 3444,5, 3525,5 $см^{-1}$ свидетельствуют о наличии гидроксильных групп - это может быть связано с углеводами (сахара, полисахариды) или влагой, особенно свободными или слабосвязными O–H группами.

Полосы в образце показывают, что рисовая мучка сохраняет остаточные жиры, насыщенные углеводные цепи, свободные гидроксильные группы и, возможно, белковые компоненты. Это согласуется с тем, что мучка - менее очищенный продукт, и в ней остаются части оболочек, зародышей, что даёт более сложный спектр, чем у хорошо рафинированной муки.

По сравнению с гречневой мукой состояние пика полосы поглощения в спектрах не сильно изменилось (рисунок 4). Полосы поглощения, отвечающие колебаниям скелета, относительно интенсивны при 1100- 700 $см^{-1}$ двух областях.

Сравнение показателей ИК-спектров гречневой муки с гречневой мучкой показывает, что в области 2000–3000 $см^{-1}$ наблюдаются отличия (см. таблицу 3). В частности, полосы при 2854,5 и 2924,5 $см^{-1}$ (валентные колебания C–H - асимметричные и симметричные) характерны для алифатических углеводородных цепей (липиды, углеводные фрагменты) и выражены у муки, а в мучке они ослаблены или смещены, что может свидетельствовать о трансформации этих структур в процессе переработки.

В работе [10] корреляционный анализ показал, что количество флавоноидов, высвобождаемых в пищеварительную жидкость, значительно связано с антиоксидантной активностью. ИК-спектроскопия гречневой, рисовой и пшеничной муки позволяет выявить характерные функциональные группы и конформационные изменения белков и полисахаридов, возникающие при

различных способах помола и фракционирования. Данное исследование может предоставить теоретическую основу для улучшения физико-химических свойств и функциональных характеристик татарской гречихи с помощью технологии ультратонкого помола, что подтверждается изменениями ИК-спектров после измельчения. Исследование влияния фракций гречихи (ФГ) на физико-химические характеристики пшеничной муки (ПМ), реологию теста и показатели качества хлеба показало, что фракционирование семян гречихи изменяет микроструктуру и молекулярную конформацию компонентов муки в зависимости от размера частиц, что хорошо коррелирует с изменениями ИК-спектров. Содержание белка в смесях ФГ–ПМ увеличивалось при добавлении ПМ среднего размера и снижалось при добавлении крупного или мелкого помола, что отражается в интенсивности амидных полос в ИК-спектре и может служить индикатором структурных изменений белка [11].

В данном исследовании сравнивали эталонный образец с гречневой мукой и гречневой мучкой. Результат анализа показал, что в спектрах гречневой мучки были обнаружены полосы поглощения при 1035,8 $см^{-1}$, 1237,7 $см^{-1}$, 1385,9 $см^{-1}$, 1525,4 $см^{-1}$, 1631,1 $см^{-1}$, 1659,3 $см^{-1}$, 2854,5 $см^{-1}$, 2924,5 $см^{-1}$, 3184,0 $см^{-1}$, 3275,5 $см^{-1}$, 3444,4 $см^{-1}$, 3524,9 $см^{-1}$, 3631,8 $см^{-1}$.

Таблица 3 - ИК-спектральные показатели гречневой муки и мучки

Гречневая мука $см^{-1}$	**Гречневая мучка $см^{-1}$**	**Характеристика**
444,7	457,7	
565,0	552,9	
710,0	718,0	
762,0		
855,5		
1021,3	1035,8	интерпретируются как валентные колебания C–O–C или C–O связей (углеводные скелеты), что указывает на присутствие полисахаридов и структурных элементов крахмала
1082,8		
1157,5		
1243,1	1237,7	соответствуют асимметричным колебаниям C–O или C–O–C в сложных углеводах или гликозидных связях
	1385,9	связывают с изгибными колебаниями алкильных групп (δCH_3 / δCH_2), что говорит о насыщенных углеводородных фрагментах в структуре
1456,5		
1536,9	1525,4	относятся к амидным или аминогруппам (δ N–H и/или C–N), что указывает на присутствие белковых компонентов или азотсодержащих соединений
1663,6	1631,1	характерны для амида (C=O растяжения в пептидных связях) и могут отражать вторичную структуру белков в образцах
	1659,3	

2156,6		
2361,8		
	2854,5	соответствуют валентным колебаниям С–Н (асимметричные и симметричные) в метиленовых/метильных группах, типичных для алифатических цепей (жиры, углеводородные фрагменты)
2925,7	2924,5	
3185,0	3184,0	относятся к растяжениям О–Н (гидроксильных групп) или N–Н (аминогрупп) - особенно свободных или слабо связанных групп, что указывает на наличие свободных гидроксилов и аминов, а также на влажность и гидратацию образца
3273,6	3275,5	
3444,1	3444,4	
3524,4	3524,9	
3620,9	3631,8	

Полоса поглощения при 718,0 см$^{-1}$ в ИК-спектре гречневой мучки может соответствовать скелетным деформационным колебаниям С–С, С–О–С или ароматическим колебаниям, особенно изгибным или внеплоскостным деформациям. Такое проявление в спектре говорит о наличии устойчивых фрагментов молекулы, формирующих “скелет” структуры (углеводный или ароматический остов). Это может свидетельствовать об участии сложных полисахаридных или фенольных компонентов, характерных для оболочек зерна или фитосоединений, сохранившихся в мучке после переработки.

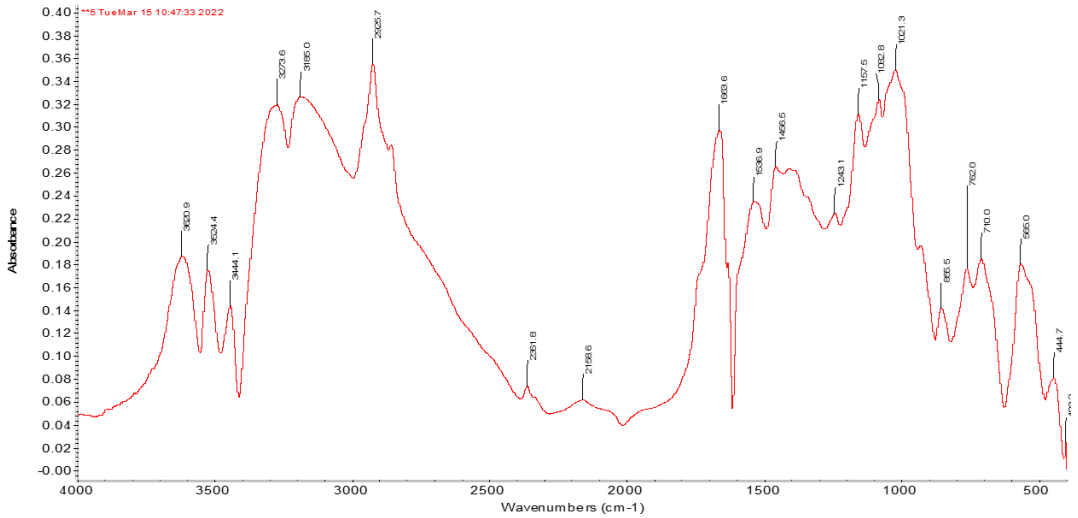


Рис.5 - ИК-спектрограмма гречневой мучки

Поглощение в области 3275–2654 см$^{-1}$ обусловлено валентными колебаниями С—Н. Оно проявляется в виде сложной широкой полосы поглощения, в которой пики при 2924 и 2654 см$^{-1}$ относятся к валентным колебаниям метиленовой группы (ν_{as} и ν_s) (рисунок 5). Положение этих полос поглощения хорошо сохраняется у всех типов алифатических углеводородов. Интенсивность полос поглощения зависит от числа метиленовых и метильных групп в молекуле углеводорода.

Выявленные полосы поглощения при 1035,8, 1237,7, 1385,9, 1525,4, 1631,1, 1659,3, 2854,5, 2924,5, 3184,0, 3275,5, 3444,4, 3524,9 и 3631,8 см$^{-1}$ в спектре гречневой мучки подтверждают присутствие различных функциональных групп:

валентные и деформационные колебания С–О/С–О–С (углеводные структуры), алкильных CH_3/CH_2 (насыщенные цепи), амидных/аминогрупп (белковые компоненты), свободных и слабо связанных О–Н/N–Н групп (гидроксильные или аминогруппы, влага/гидратация), что указывает на комплексный состав мучки с углеводными, белковыми и гидрофильными элементами, способными к образованию водородных связей и взаимодействию с водой.

По свойствам это говорит о том, что гречневая мучка сохраняет комплексный химический состав - помимо углеводов (включая полисахариды, гликозиды и крахмал), в ней присутствуют белковые компоненты и гидроксильные группы. Такое разнообразие функциональных групп может придавать мучке дополнительные свойства: способность к внутримолекулярному и межмолекулярному связыванию воды, возможность образования водородных связей, а также влияние на реологические характеристики растворов и взаимодействие с другими компонентами в технологических системах.

Выводы. По итогам исследования диапазон основных колебаний молекул (образцов), называемый «средний инфракрасный», лежит между волновыми числами от 3690 до 444 $см^{-1}$. Во всех спектрах исследованных образцов обнаружены полосы поглощения, отражающие общий химический состав.

Таким образом, можно проследить полученные результаты исследуемых объектов. Алгоритмизация последовательностей расшифровки ИК-спектра позволяет определить интенсивность полос поглощения по наличию функциональных групп в молекулах.

На основании сравнения ИК-спектров пшеничной муки (контроль), рисовой и гречневой муки, а также исследуемых мучек (рисовой и гречневой) можно сделать следующие выводы о пищевой ценности и составе.

У образцов, демонстрирующих выраженные полосы в области 2854,5 и 2924,5 $см^{-1}$ (валентные колебания С–Н), можно предполагать значительное содержание алифатических цепей - то есть липидов и углеводных фрагментов, что указывает на жировую и углеводную компоненты, активные в структуре.

По результатам интерпретации полос поглощения и характеристик пиков определяется химическая природа полосы ~2925–2928 $см^{-1}$ у исследуемых образцов.

Рисовая мука: имеет острый пик - это показывает, что структура крахмала более упорядочена, длинные цепи амилопектина обеспечивает гладкую, нежную текстуру, но без клейкости (без белков глютенового типа).

Гречневая мука: пик выше и шире, присутствуют не только углеводы, но и липидные и белковые фрагменты, по структуре более сложная, пористая, с высокой способностью удерживать воду и жир.

Пшеничная мука: пик менее острый, CH_2-группы участвуют во внутримолекулярных связях с белками (глютеном), пик «размыт» → свидетельствует о развитой белково-крахмальной матрице в продукте эластичной структуре теста.

В области 2920–2950 $см^{-1}$ наблюдаются валентные колебания С–Н групп, характеризующие липидно-углеводные компоненты. У пшеничной муки (2927,8 $см^{-1}$) пик сглаженный, что отражает среднее содержание липидов и взаимодействие белков с полисахаридами. У рисовой муки (2925,7 $см^{-1}$) пик острый, средней высоты - признак упорядоченных CH_2-групп и преобладания крахмала амилопектинового типа. У гречневой муки (2925,8 $см^{-1}$) пик высокий, широкий с бугорком, что указывает на большее содержание липидов и белково-липидных комплексов. Водоудерживающая способность выше у рисовой и гречневой муки по сравнению с пшеничной.

В области 3200–3450 $см^{-1}$ наблюдаются валентные колебания связей N–H и O–H, отражающие наличие белков и гидроксильных групп. У пшеничной муки (3207,7; 3295,7; 3443,2 $см^{-1}$) полосы указывают на развитые водородные связи и белково-полисахаридные комплексы. У рисовой (3203,6; 3291,8; 3444,2 $см^{-1}$) и гречневой муки полосы смещены к меньшим частотам, что свидетельствует о более сильных водородных

связях и большем содержании гидроксильных групп. Это указывает на повышенную влагопоглощающую способность и более выраженные гидрофильные свойства рисовой и гречневой муки по сравнению с пшеничной.

По результатам сравнений рисовой и гречневой мучки в областях 2850–2925 $см^{-1}$ наблюдаются валентные колебания С–Н метильных и метиленовых групп, а в области 3180–3295 $см^{-1}$ - N–H и O–H валентные колебания, отражающие белки и гидроксильные группы. Обе мучки имеют невысокую интенсивность пиков, что говорит о меньшей концентрации свободных функциональных групп по сравнению с другими зерновыми продуктами: рисовая мучка более упорядочена и гидрофильна, гречневая - структурно сложнее.

У рисовой мучки (2854,5; 2925,0; 3294,5 $см^{-1}$) пики низкой интенсивности, что указывает на наличие упорядоченных CH_2-групп и гидрофильных функциональных групп, обеспечивающих водопоглощающие свойства.

У гречневой мучки (2924,5; 3184,0; 3275,5 $см^{-1}$) пики также слабые и размытые, что отражает более гетерогенную структуру с белково-липидными комплексами и менее упорядоченные углеводные цепи.

Интенсивные или чётко выраженные полосы в «углеводной» области (примерно 1000–1100 $см^{-1}$, С–О / С–О–С) особенно свидетельствуют о высоком содержании крахмала (амилозы/амилопектина) и других полисахаридов, что повышает энергетическую ценность образца рисовой муки.

Полосы, характерные для гидроксильных групп (О–Н), особенно широкие и смещённые (3275,5-3444,4 см-1), указывают на присутствие гидроксилов, связанных или свободных, что свидетельствует о влаге, углеводах и гидрофильных компонентах - это может усиливать способность к удержанию воды или участие в межмолекулярных связях.

Наличие амидных или аминогрупп (в области ~ 1500–1650 $см^{-1}$) даже при слабой выраженности свидетельствует о белковых компонентах или азотсодержащих веществах - это говорит о том, что образцы не являются чисто углеводными, а содержат значимые доли белков или аминокислот (при 3521,6 см-1), и указывает на наличие свободных гидрофильных функциональных групп, что чаще связано со свободными аминокислотами, белковыми аминогруппами и гидроксильными группами полисахаридов.

В образцах мучки многие характерные полосы ослаблены или исчезают, что говорит о нарушении упорядоченной структуры (например, кристалличности крахмала), снижении содержания легкодоступных крахмальных компонентов и большей доле грубых фракций (оболочки, клетчатка) - это уменьшает усвояемость углеводов, снижает энергетическое значение и может увеличивать долю пищевых волокон в рационе.

Таким образом, спектроскопические данные подтверждают, что муки (особенно пшеничная) содержат более структурированную, усвояемую крахмальную и белковую часть, тогда как мучки характеризуются большим содержанием структурных (не крахмальных) компонентов, клетчатки и частично разрушенной крахмальной фракцией, что сказывается на пищевой ценности, перевариваемости и функциональных свойствах продукта.

В пищевой отрасли исследование спектров продуктов позволяет интерпретировать пики поглощения и на основании этого делать выводы о составе и свойствах материалов.

Полученные результаты имеют практическое значение для лабораторий контроля качества зерновых продуктов, предприятий пищевой промышленности, производителей муки и хлебобулочных изделий, а также для научных исследований в области пищевой химии.

Финансирование. *Данное исследование выполнено в рамках грантового финансирования Министерства образования и науки Республики Казахстан по теме: AP09561622 «Разработка технологии производства безглютеновых мучных кондитерских изделий с использованием муки из семян зернобобовых культур, выращенных в Казахстане».*

Литература

1. Hongyou Li, Qiuyu Lv, Ake Liu, Jiarui Wang, Xiaoqian Sun, Jiao Deng, Qingfu Chen, Qi Wu. Comparative metabolomics study of Tartary (Fagopyrum tataricum (L.) Gaertn) and common (Fagopyrum esculentum Moench) buckwheat seeds//Food Chem. -2022.- Vol.371:131125. DOI 10.1016/j.foodchem.2021.131125.

2. Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия: основы, техника, аналитическое применение // Пер. с англ. Тарасевича Б.Н. - М.: Мир. - 1982. - 326 с.

3. Тарасевич Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы//М.: МГУ им. Ломоносова. -2012. - 55 с.

4. Yinghui Chai, Yue Yu, Hui Zhu, Zhanming Li, Hao Dong, Hongshun Yang. Identification of common buckwheat (Fagopyrum esculentum Moench) adulterated in Tartary buckwheat (Fagopyrum tataricum (L.) Gaertn) flour based on near-infrared spectroscopy and chemometrics. //Current Research in Food Science. -2023.-Vol.7:100573. DOI 10.1016/j.crfs.2023.100573.

5. Омаралиева А.М., Ботбаева Ж.Т., Агедилова М.Т., Абилова М.Б., Жанайдарова А.Е. Влияние СВЧ обработки зернобобовых культур на свойства безглютеновой муки// Вестник ЕНУ имени Л.Н. Гумилева. Серия Биологические науки.-2021.- № 4(137). – С.75-83. DOI 10.32523/2616-7034-2021-137-4-75-83.

6. Aigul Omaraliyeva, Botbayeva Zhanar, Mereke Agedilova, Meruyert Abilova, Aidana Zhanaidarova. Determining the optimal parameters of ultra-high-frequency treatment of chickpeas for the production of gluten-free flour//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. -2021.-Vol.5 (113). -51- 60 P. DOI 10.15587/1729-4061.2021.241877.

7. Омаралиева А.М., Ботбаева Ж.Т. Аспекты создания безглютеновых продуктов питания. Монография//Нур-Султан: Полиграфия «Z-Print». - 2022. - 230 с.

8. Sinyayev V.Аю, Toxeitova G.A., Batyrbayeva A.A., Sassykova L. R., Azhigulova R. N., Sakhipov Yею N. A comparative investigtion of the ir spectra of a carbohydrate series //Journal of Chemical Technology and Metallurgy. -2020.-Vol.55 (4). -P.724-729.

9. Nikonenko N.A., Buslov D.K., Sushko N.I., Zhbankov R.G. Analysis of the Structure of Carbohydrates with Use of the Regularized Deconvolution Method of Vibrational Spectra//BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi. -2002.-Vol.4.2.- 13-16.

10. Xinhui Wang, Xue Zhang, Dongjie Zhang. Enhancement of cation exchange and glucose binding capacity, flavonoids release and antioxidant capacity of Tartary buckwheat powder with ultrafine grinding //Frontiers in Nutrition. Sec. Nutrition and Food Science Technology. -2023.- Vol.10: 1276017. DOI 10.3389/fnut.2023.1276017.

11. Coţovanu I, Mironeasa S. Influence of Buckwheat Seed Fractions on Dough and Baking Performance of Wheat Bread//Agronomy. -2022.-Vol.12(1):137. DOI 10.3390/agronomy12010137.

References

1. Hongyou Li, Qiuyu Lv, Ake Liu, Jiarui Wang, Xiaoqian Sun, Jiao Deng, Qingfu Chen, Qi Wu. Comparative metabolomics study of Tartary (Fagopyrum tataricum (L.) Gaertn) and common (Fagopyrum esculentum Moench) buckwheat seeds//Food Chem. -2022.- Vol.371:131125. DOI 10.1016/j.foodchem.2021.131125.

2. Smit A. Prikladnaja IK-spektroskopija: osnovy, tehnika, analiticheskoe primenenie // Per. s angl. Tarasevicha B.N. - M.: Mir. - 1982. - 326 s. [in Russian]

3. Tarasevich B.N. IK spektry osnovnyh klassov organicheskih soedinenij. Spravochnye materialy//M.: MGU im. Lomonosova. -2012. - 55 s. [in Russian]

4. Yinghui Chai, Yue Yu, Hui Zhu, Zhanming Li, Hao Dong, Hongshun Yang. Identification of common buckwheat (Fagopyrum esculentum Moench) adulterated in Tartary buckwheat (Fagopyrum tataricum (L.) Gaertn) flour based on near-infrared spectroscopy and chemometrics. //Current Research in Food Science. -2023.-Vol.7:100573. DOI 10.1016/j.crfs.2023.100573.

5. Omapalieva A.M., Botbaeva Zh.T., Agedilova M.T., Abilova M.B., Zhanajdapova A.E. Vlijanie SVCh obrabotki zernobobovyh kul' tur na svojstva bezgljutenovoj muki// Vestnik ENU imeni L.N. Gumileva. Serija Biologicheskie nauki.-2021.- № 4(137). – S.75-83. DOI 10.32523/2616-7034-2021-137-4-75-83. [in Russian]

6. Aigul Omaraliyeva, Botbayeva Zhanar, Mereke Agedilova, Meruyert Abilova, Aidana Zhanaidarova. Determining the optimal parameters of ultra-high-frequency treatment of chickpeas for the production of gluten-free flour//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. -2021.-Vol.5 (113). -51- 60 P. DOI 10.15587/1729-4061.2021.241877.

7. Omaralieva A.M., Botbaeva Zh.T. Aspekty sozdanija bezgljutenovyh produktov pitanija. Monografija//Nur-Sultan: Poligrafija «Z-Print». - 2022. - 230 s. [in Russian]

8. Sinyayev V.Аю, Toxeitova G.A., Batyrbayeva A.A., Sassykova L. R., Azhigulova R. N., Sakhipov Yею N. A comparative investigtion of the ir spectra of a carbohydrate series //Journal of Chemical Technology and Metallurgy. -2020.-Vol.55 (4). -P.724-729.

9. Nikonenko N.A., Buslov D.K., Sushko N.I., Zhbankov R.G. Analysis of the Structure of Carbohydrates with Use of the Regularized Deconvolution Method of Vibrational Spectra//BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi. -2002.-Vol.4.2.- 13-16.

10. Xinhui Wang, Xue Zhang, Dongjie Zhang. Enhancement of cation exchange and glucose binding capacity, flavonoids release and antioxidant capacity of Tartary buckwheat powder with ultrafine grinding //Frontiers in Nutrition. Sec. Nutrition and Food Science Technology. -2023.- Vol.10: 1276017. DOI 10.3389/fnut.2023.1276017.

11. Coţovanu I, Mironeasa S. Influence of Buckwheat Seed Fractions on Dough and Baking Performance of Wheat Bread//Agronomy. -2022.-Vol.12(1):137. DOI 10.3390/agronomy12010137.

Сведения об авторах

Агедилова М.Т. - кандидат химических наук, АО «Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова», Астана, Казахстан, e-mail: amt5@yandex.ru;

Ботбаева Ж.Т. - кандидат биологических наук, АО «Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова», Астана, Казахстан, e-mail: zhanar.b.t@mail.ru;

Омаралиева А.М. - кандидат технических наук, АО «Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова», Астана, Казахстан, e-mail: aigul-omar@mail.ru.

Information about the authors

Agedilova M.T. - candidate of Chemical Sciences, JSC "K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business",Astana, Kazakhstan, e-mail: amt5@yandex.ru;

Botbayeva Zh.T. - candidate of Biological Sciences, JSC "K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business", Astana, Kazakhstan, e-mail: zhanar.b.t@mail.ru;

Omaraliyeva A.M. - candidate of Technical Sciences, JSC "K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business", Astana, Kazakhstan, e-mail: aigul-omar@mail.ru.

IRSTI 65.63.33 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1242**

STUDY OF THE STORAGE STABILITY OF LACTOMCT GREEK YOGURT

[1]S. Toleubekova, [1]A. Alipov, [2]D. Sviderskaya, [3]G. Yussupova, [3]Zh. Shadyarova, [3]M. Iztileuov

[1]NP JSC«Shakarim University», Semey, Kazakhstan,
[2]NP JSC«Toraighyrov University», Pavlodar, Kazakhstan,
[3]NP JSC «S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University», Astana, Kazakhstan

Corresponding author: saltosha-sandu@mail.ru

This scientific article presents the results of the quality assessment of functional Greek yogurt produced in laboratory conditions under the terms and conditions of storage. The tests were conducted in the accredited testing center of the National Center for Expertise and Certification JSC. The purpose of the study was to check the changes in organoleptic, physicochemical, microbiological and radiation indicators of the product during storage and the level of preservation of its safety and quality. During the study, the organoleptic properties and physicochemical indicators of yogurt were studied at different storage times. The taste and aroma of yogurt remained unchanged over time, which indicates its high quality and compliance with proper storage conditions. During the storage period, the consistency remained homogeneously creamy, and the color of the berry components remained unchanged. Among the physicochemical indicators, the mass fraction of protein remained at 6.3%, which did not decrease from the initial value, and the mass fraction of fat did not change to 15%, which is typical for Greek yogurt. Microbiological indicators also did not change during the study, all tests remained within the permissible safety limits. Residues of radioactive substances and pesticides were detected within the permissible limits during the storage period. Thus, the data obtained demonstrate the high quality and safety of functional yogurt, as well as the shelf life and conditions that are favorable for its production and sale on an industrial scale.

Keywords: greek yogurt, shelf life, MCT oil, protein, functional food.

LACTOMCT ГРЕК ЙОГУРТЫНЫҢ САҚТАЛУ ҚАБІЛЕТТІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

[1]С.С. Толеубекова, [1]Ә.Е. Әліпов, [2]Д.С. Свидерская, [3]Г.Т. Юсупова, [3]Ж.К. Шадьярова, [3]М.К. Изтилеуов

[1]«Шәкәрім университеті» КеАҚ, Семей, Қазақстан,
[2]«Торайғыров университеті» КеАҚ, Павлодар, Қазақстан,
[3]«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан
e-mail: saltosha-sandu@mail.ru

Бұл ғылыми мақалада сақтау мерзімі мен сақтау шарттарына байланысты зертханалық жағдайларда өндірілген функционалдық бағыттағы грек йогуртының сапасын бағалау нәтижелері ұсынылған. Сынақтар АҚ «Ұлттық сараптау және сертификаттау орталығы» аккредиттелген сынақ зертханасында жүргізілді.Зерттеудің мақсаты өнімді сақтау кезінде органолептикалық, физика-химиялық, микробиологиялық және радиациялық көрсеткіштерінің өзгеруін зерттеу, сонымен қатар оның қауіпсіздігі мен сапасының сақталу деңгейін анықтау болды. Зерттеу барысында йогурттың әр түрлі сақтау мерзімдерінде органолептикалық қасиеттері мен физика-химиялық көрсеткіштері зерттелді. Йогурттың дәмі мен хош иісі уақыт өте келе өзгеріссіз сақталды, бұл оның жоғары сапасын және дұрыс сақтау шарттарына сәйкестігін білдіреді. Сақтау кезеңінде консистенциясы біртекті кремді болып қалды және жидек компоненттерінің түсі өзгеріссіз болды. Физика-химиялық көрсеткіштер арасында ақуыздың массалық үлесі 6,3% болып қалды, бұл бастапқы мәннен төмендеген жоқ, ал майдың массалық үлесі 15%-ға дейін өзгермеді, бұл грек йогуртына тән. Микробиологиялық көрсеткіштер де өзгеріссіз қалды, барлық нәтижелер рұқсат етілген қауіпсіздік шегінде болды.Сақтау кезіндегі радиоактивті заттар мен пестицидтердің қалдық мөлшері рұқсат етілген

шектерде екені анықталды. Осылайша, алынған деректер функционалдық йогурттың жоғары сапасы мен қауіпсіздігін, сондай-ақ сақтау мерзімі мен сақтау шарттары оны өнеркәсіптік деңгейде өндіру және сату үшін тиімді екендігін растайды.

Негізгі сөздер: грек йогурты, сақтау мерзімі, МСТ майы, ақуыз, функционалдық тағам.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХРАНИМОСПОСОБНОСТИ ГРЕЧЕСКОГО ЙОГУРТА LACTOMCT

[1]С.С. Толеубекова✉, [1]Ә.Е. Әліпов, [2]Д.С. Свидерская, [3]Г.Т. Юсупова, [3]Ж.К. Шадьярова, [3]М.К. Изтилеуов

[1]НАО «Шәкәрім университеті», Семей, Казахстан,
[2]НАО «Торайгыров университет», Павлодар, Казахстан,
[3]НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», Астана, Казахстан,
e-mail: saltosha-sandu@mail.ru

В данной научной статье представлены результаты оценки качества греческого йогурта функционального назначения, произведённого в лабораторных условиях, в зависимости от срока и условий хранения. Испытания проводились в аккредитованной испытательной лаборатории АО «Национальный центр экспертизы и сертификации». Цель исследования заключалась в изучении изменений органолептических, физико-химических, микробиологических и радиационных показателей продукта в процессе хранения, а также в определении уровня сохранности его безопасности и качества. В ходе исследования были проанализированы органолептические свойства и физико-химические показатели йогурта на различных сроках хранения. Вкус и аромат продукта со временем оставались без изменений, что свидетельствует о его высоком качестве и соблюдении надлежащих условий хранения. В течение всего периода хранения консистенция оставалась однородной и кремообразной, цвет ягодных компонентов не изменялся. Среди физико-химических показателей массовая доля белка составляла 6,3%, что не ниже исходного значения, а массовая доля жира оставалась на уровне 15%, что характерно для греческого йогурта. Микробиологические показатели также не претерпели изменений, все результаты находились в пределах допустимых норм безопасности. Остаточные количества радиоактивных веществ и пестицидов в течение хранения определялись в допустимых пределах. Таким образом, полученные данные подтверждают высокое качество и безопасность функционального йогурта, а также эффективность условий и сроков хранения для его дальнейшего промышленного производства и реализации.

Ключевые слова: греческий йогурт, срок хранения, МСТ-масло, белок, функциональное питание.

Introduction. In recent decades, one of the most relevant scientific areas has become the production of functional food products that not only provide the human body with essential nutrients, but also have a positive effect on health. Functional foods help to improve the quality of life and prevent chronic diseases due to their preventive and curative effects on the human body.

One of the products that deserves special attention in this regard is Greek yogurt, as it has a high protein content and a thick, dense consistency. The raw cow's milk used for Greek yogurt production typically contains about 3.2-3.4% protein, and the higher protein content of Greek yogurt results from whey removal during straining, which concentrates milk proteins rather than from increased protein in the raw milk

These properties make it ideal for use in therapeutic and preventive nutrition, especially for patients with diseases of the gastrointestinal tract.

Scientific studies have shown that medium chain triglycerides (MCT) are easily absorbed in the digestive system and do not require pancreatic enzymes for digestion [1,2]. Therefore, such fats are effectively used as an energy source for digestive disorders, including pancreatitis and malabsorption

syndrome. Considering these properties, functional Greek yogurt with blackberries and vegetable oil MCT was chosen as the object of the study.

In addition, milk proteins, especially when consumed in fermented form, contribute to the restoration of the intestinal mucosa and support the immune system [3].

Despite the fact that a slight excess of the permissible levels of fat and protein was observed during the analysis, these deviations can be considered acceptable, taking into account the composition of the product, its functional purpose and the maximum permissible limits recommended by international food safety organizations [4].

The subject of the study is the change in the organoleptic, physico-chemical and microbiological parameters of Greek yogurt depending on its shelf life.

The aim of the study is to determine the stability and suitability of functional Greek yogurt for industrial production by evaluating its quality and safety during storage. The following tasks were set during the study:

- evaluation of organoleptic properties of the product according to its shelf life;

- determination of the dynamics of physicochemical indicators (fat, protein, acidity);

- vicrobiological and radiation safety control;

- ompare the results obtained with regulatory requirements and justify the functional effectiveness of the product.

The research methodology was conducted in accordance with the Technical Regulations of the Customs Union. This research is aimed at improving the quality of functional and therapeutic dairy products, as well as contributing to the development of safe food products for people with digestive disorders.

Materials and methods. To determine the stability and safety of functional Greek yogurt with added medium-chain triglyceride (MCT) fat during shelf life.

Greek yogurt with MCT oil and blackberry retains its organoleptic, physicochemical, and microbiological qualities during storage, making it suitable for industrial production as a functional food product.

Greek yogurt was produced using a fixed formulation containing 1.5% (w/w) medium-chain triglyceride (MCT) oil, 0.75% blackberry purée, 0.075% stevia sweetener, 0.045% guar gum, and 0.1% yogurt starter culture. The quantitative composition of all additives was identical for all samples and remained unchanged throughout the shelf-life study. All tests were conducted in the accredited testing laboratory of the National Center for Expertise and Certification (Ust-Kamenogorsk).

Medium-chain triglyceride (MCT) oil was added at a level of X g per 100 g of product, and blackberry filler at Y g per 100 g, based on functional yogurt formulations reported in the literature. The selected concentrations were fixed for all samples and were not varied during the study.

Research stages:

- sample preparation and establishment of standard storage conditions;

- conducting organoleptic, physicochemical and microbiological tests;

- assessment of toxicological and radiation indicators;

- comparison and analysis of the results obtained with regulatory documents.

Research methods:

Organoleptic analysis:

The taste, smell, consistency and color of yogurt were determined by tasting method in accordance with GOST 31981.

Physico-chemical indicators:

Mass fraction of fat - according to GOST 5867 (acid treatment method);

Mass fraction of protein - according to GOST 34454 (Kjeldahl method).

Toxicological analysis:

Toxic elements such as lead, cadmium, arsenic, and mercury were determined by atomic absorption spectrometry in accordance with GOST 26927. Pesticides and mycotoxins:

Aflatoxin M1, GCTC, and DDT residues were determined by chromatography-mass spectrometry (GOST 30711 and GOST 51762).

Microbiological research:

The number of lactic acid microorganisms - GOST 10444.11;

BGCP and pathogenic microflora (salmonella, staphylococci) - GOST 31659 and GOST 10444.2; Yeasts and molds - GOST 10444.12.

Radiation analysis:

The content of strontium-90 and cesium-137 was determined by gamma spectrometry in accordance with GOST 32161.

All measurements were carried out in accordance with the requirements of laboratory quality management. The results were compared and assessed for compliance with the Technical Regulations of the Customs Union «On the Safety of Milk and Dairy Products» (TR CU 033/2013), the State Standard of the Russian Federation.

The shelf-life study was conducted on three independent yogurt samples (n = 3) produced in laboratory conditions. Samples were stored at (4 ± 1) °C under refrigerated conditions in sealed food-grade containers, protected from light. Measurements were performed on days 1, 7, and 14 of storage.

The work, for the first time, comprehensively studied the quality and safety indicators of functional Greek yogurt with blackberry and MCT oil during storage, proving the adaptability of this product to industrial production.

The present study is based on certified laboratory test protocols obtained from an accredited testing center. According to GOST testing procedures, physicochemical, microbiological, toxicological, and radiological indicators are determined as compliance values rather than replicated experimental measurements. Therefore, results are presented as absolute values or detection limits and evaluated by comparison with regulatory standards.

Results and discussion. The results of the shelf life study of Greek yogurt with MCT oil and blackberry confirmed the high-grade of the product and its compliance with regulatory requirements. The main feature of the developed product is its functional and dietary orientation, i.e. its suitability for use in gastrointestinal (GI) diseases - pancreatitis, malabsorption syndrome, and chronic enteritis.

Table 1 - Organoleptic characteristics of Greek yogurt during storage

Indicators	1 day	7 days	14 days
Appearance	Uniform, thick, no whey separation	Slight whey separation	Minor whey separation
Taste and aroma	Mildly sour, fruity	Balanced acidity	Typical yogurt taste
Color	Light cream color, dark purple with blackened parts.	Pink, depending on the added component	Uniform, light cream color, with no darkened areas that have changed color.

Table 2 - Physicochemical parameters of Greek yogurt

Indicators	1 day	7 days	14 days
Fat content,%	15.1	14.8	14.7
Protein content, %	6.3	6.1	6.0
Titratable acidity, °T	85	92	98

Table 3 - Indicators of toxic elements in Greek yogurt (Limit level, mg/kg - not more)

Indicators	Control model	Greek yogurt for functional purposes
Lead	0.1	0.15
Arsenic	0.05	less than 0.001
Cadmium	0.03	0.014
Mercury	0.005	Less than 0.0001
Pesticides:		
HCG (alpha, beta, gamma isomers)	0.05	Not detected (ND)
DDT and its metabolites	0.05	Not detected (ND)
Mycotoxins:		
Aflatoxin M1	0.0005	Not detected (ND)

Table 4 - Radionuclides in Greek yogurt indicators (Bq/kg)

Indicators	Control model	Greek yogurt for functional purposes
Strontium-90	25	3.1
Cesium-137	100	2.9

Table 5 - Microbiological indicators of Greek yogurt

Indicators	Control model	Greek yogurt for functional purposes
Lactose-containing microorganisms, CFU/cm^3 (g), more not	$10x10^7$	$10x10^7$ CFU/g
BGCP (coliforms), feed volume cm^3 (g) not allowed	0.01	not determined
Pathogenic (salmonella) feed volume in cm^3 (g) is not allowed	25	not determined
Staphylococci, S.aureus, not allowed in food volume $cm^{3\,(g)}$	1.0	not determined
Yeasts, CFU/g not more than	50	less than 50 CFU/g
Mold, CFU/g not more than	50	less than 10 CFU/g

The excess values can be explained by the fact that yogurt is intended for a functional purpose. For example, in plain yogurt, the mass fraction of fat is 10 g (Table 2). It should not be more. In our case, this figure is 15 g. because MCT oil is added. The amount of MCT oil is taken from scientific literature [5]. Similarly, we see that the amount of protein is also exceeded. This is due to the technology of making yogurt. Usually Greek yogurt contains 2 times more protein than plain yogurt.

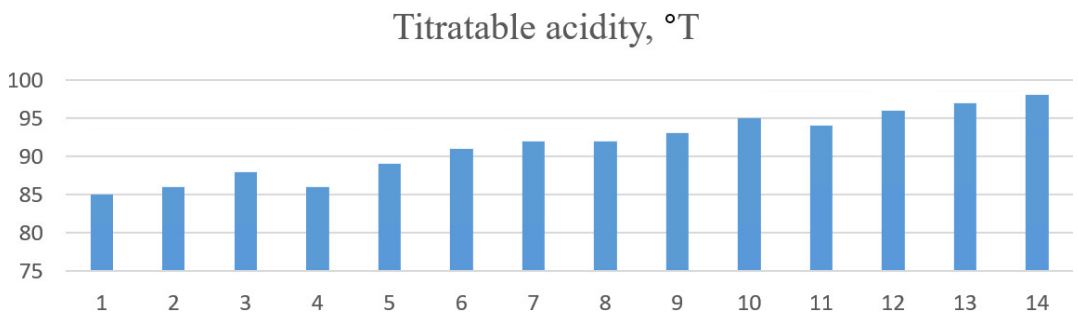


Fig.1 - Changes in titratable acidity of Greek yogurt during storage at 4 ± 1 °C (n = 3)

The main feature of the developed product is its functional and dietary orientation, i.e. its suitability for use in gastrointestinal (GI) diseases - pancreatitis, malabsorption syndrome, and chronic enteritis.

Tables 3-5 present the results of toxicological, radiological, and microbiological analyses of Greek yogurt during storage. As shown in Table 3, the content of toxic elements and pesticide residues did not exceed regulatory limits. Table 4 demonstrates that radionuclide levels (strontium-90 and cesium-137) remained well below permissible values. Table 1 presents the organoleptic characteristics of the Greek yogurt. According to Table 5, no pathogenic microorganisms were detected, and microbiological indicators complied with food safety requirements throughout the storage period.

During the storage period (1-14 days), the organoleptic and physicochemical parameters remained stable. The mass fraction of fat did not change significantly from the initial value of 15.0% (≤10%). This increase is explained by the addition of medium-chain triglyceride (MCT) fat. A number of clinical studies have shown that MCT oils have high bioavailability, do not require the participation of bile acids in the emulsification process, and are rapidly absorbed in the intestine, which is especially important in gastrointestinal pathologies [6]. In addition, MCT oil allows you to maintain energy balance and improve the nutritional status of patients without overloading the digestive system [7].

The protein content remained constant throughout the storage period at 6.3%, above the minimum permissible value (3.2%). A high protein content is important for maintaining muscle mass, repairing the intestinal mucosa, and supporting immune function, which is especially important in cases of chronic inflammation or exhaustion [7].

During storage, the titrated acidity gradually increased (85°T → 98°T) (Fig.1), which indicates a slow process of natural lactic acid fermentation. However, these changes did not adversely affect the quality of the product, and all indicators remained within the regulatory limits.

In addition, the level of lead was determined at 0.15 mg/kg (Table 3). This does not exceed the limit value established in some countries (≤0.2 mg/kg), but the need remains to identify and control sources of contamination in raw materials and production stages [8].

According to scientific data, Greek yogurt is capable of maintaining stable physicochemical parameters, microbiological safety, and desirable sensory characteristics even after 21 days of refrigerated storage, confirming that it can be safely preserved for a prolonged period while retaining its high quality and functional properties [9]. These findings are consistent with the results obtained by Yang and Yoon (2022), who reported that the population of lactic acid bacteria in Greek yogurt remained stable and the pH changed only slightly during 21 days of storage at 4 °C, demonstrating high microbiological and physicochemical stability of the product [10].

The selected quantitative levels of additives did not negatively affect the shelf life of Greek yogurt. The addition of 1.5% MCT oil did not promote lipid oxidation or microbiological instability due to the high oxidative stability

and rapid metabolic utilization of medium-chain triglycerides. Blackberry purée at a concentration of 0.75% did not accelerate acidification or spoilage processes, as evidenced by the gradual and controlled increase in titratable acidity during storage. The low concentrations of guar gum (0.045%) and stevia sweetener (0.075%) contributed to texture stabilization and sweetness without influencing microbial growth. Overall, the applied additive levels ensured physicochemical and microbiological stability of the product throughout the storage period.

Overall, even after 14 days of storage, Greek yogurt with MCT oil and blackberry etained its high organoleptic, physicochemical, and microbiological quality and remained suitable for use as a functional food product.

Conclusions. The aim of the study was to evaluate the changes in the quality parameters of functional Greek yogurt with the addition of blackberry and medium-chain triglyceride (MCT) fat during the shelf life and to determine its safety. To achieve this goal, organoleptic, physicochemical, microbiological and radiation methods were used.

The results of the study showed that Greek yogurt is a high-quality and safe product. During the storage period (14 days), its taste, smell, color and consistency remained stable, and no signs of spoilage were observed. The average fat content remained stable at ≈15%, and the protein content at ≈6.3%, which is a functional feature of Greek yogurt. The results of microbiological and radiation studies confirmed the absence of pathogenic microorganisms, pesticides and mycotoxins, which means that the product fully complies with sanitary and hygienic standards.

The study demonstrated the high nutritional value and easy-to-digest properties of Greek yogurt with MCT oil and blackberry. This product can be an effective source of energy and protein in the diet of people with gastrointestinal diseases.

The results of the study scientifically substantiate the possibility of industrial production of functional Greek yogurt and pave the way for its introduction as a new useful product in the domestic food industry. In the future, it is recommended to conduct additional research in the direction of extending the shelf life and enriching the product composition with other natural biologically active components.

References

1. Parrish CR, Krenitsky J. The Use of Medium-Chain Triglycerides in Gastrointestinal Disorders [Electronic resource] // Practical Gastroenterology. - 2017. -Vol.152 (3).-P.20-28. URL: https://med.virginia.edu/ginutrition%20/wp-content/uploads/sites/199/2014/06/Parrish-February-17.pdf (accessed: 22.12.2025).

2. EwaŁoś-Rycharska, ZuzannaKieraszewicz, MieczysławaCzerwionka-Szaflarska. Medium chain triglycerides (MCT) formulas in paediatric and allergological practice // Prz Gastroenterol.- 2016.- Vol.11(4).- P.226-231 .DOI 10.5114/pg.2016.61374.

3. Yuan Gao, Yanyan Liu, Tingting Ma, Qimeng Liang, Junqi Sun, Xiaomeng Wu, Yinglong Song, Hui Nie, Jun Huang, and Guangqing Mu. Fermented Dairy Products as Precision Modulators of Gut Microbiota and Host Health: Mechanistic Insights, Clinical Evidence, and Future Directions // Foods. - 2025. -Vol.14(11):1946. DOI 10.3390/foods14111946.

4. Sümeyye Sarıtaş, Alicia del Carmen Mondragon Portocarrero, Jose M. Miranda, Anna Maria Witkowska andSercanKarav.Functional Yogurt: Types and Health Benefits // Appl. Sci.-2024.-Vol.14(24): 11798. DOI 10.3390/app142411798.

5. Waded K. N., Sinija V. R. Development of functional yogurt drink fortified with medium chain triglyceride oil and study its quality attributes [Electronic resource]//The Pharma Innovation Journal. - 2022.-Vol.SP-11(8).-P.1616-1619.

6. Maysa Vieira de Sousa, Diana Bento da Silva Soares, Elaine Reis Caraça, Ronaldo Cardoso. Dietary protein and exercise for preservation of lean mass and perspectives on type 2 diabetes prevention//Exp Biol Med (Maywood). -2019.- Vol.244(12):992–1004. DOI 10.1177/1535370219861910.

7. Nutrition Guidelines for Chronic Pancreatitis Patient Education. – Digestive Health Center at Stanford Hospital and Clinics. - NS, 2012. URL: https://stanfordhealthcare.org/content/dam/SHC/for-patients-component/programs-services/clinical-nutrition-services/docs/pdf-therapyforchronicpancreatitis.pdf (accessed: 22.12.2025).

8. Codex Alimentarius Commission. General standard for contaminants and toxins in food and feed (Codex Stan 193-1995). – Rome: FAO/WHO, 2022. URL: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/livestockgov/documents/1_CXS_193e.pdf (accessed: 22.12.2025).

9. Sofia Sestito Dias, Damarys de Souza Vergílio, Arthur Marroni Pereira, Suellen Jensen Klososki, Vanessa AparecidaMarcolino, Rayane Monique Sete da Cruz, Giselle Nobre Costa, Carlos Eduardo Barão, Tatiana Colombo Pimentel. Probiotic Greek yogurt: effect of the addition of prebiotic fat substitutes on the physicochemical characteristics, probiotic survival, and sensory acceptance //Journal of Dairy Research. - 2021.-Vol.88 (1). -P.98-104. DOI 10.1017/S0022029921000121.

10. So-Young Yang andKi-Sun Yoon. Effect of Probiotic Lactic Acid Bacteria (LAB) on the Quality and Safety of Greek Yogurt // Foods. -2022.-Vol.11(23):3799. DOI 10.3390/foods11233799.

Information about the authors

Toleubekova S.- Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, NJSC «Shakarim University»,Semey, Kazakhstan, e-mail: saltosha-sandu@mail.ru;

Alipov A.- 2nd year master' s student, NJSC «Shakarim University», Semey, Kazakhstan, e-mail:lpov.dl@bk.ru;

Sviderskaya D.- Candidate of Technical Sciences, Professor, Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan, e-mail: sofilsev@rambler.ru;

Yussupova G.- PhD, Senior Lecturer, NJSC «S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University»,Astana, Kazakhstan, e-mail: gauhar_20_90@mail.ru;

Shadyarova Zh.- PhD, Senior Lecturer, NJSC «S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University», Astana, Kazakhstan, e-mail:zhazira_shadyarova@bk.ru;

Iztileuov M. - NJSC «S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University», Astana, Kazakhstan, e-mail: m.iztileuov@mail.ru.

Сведения об авторах

Толеубекова С. С.- кандидат технических наук, ассоциированный профессор, НАО «Шәкәрім университет», Семей, Казахстан, e-mail: saltosha-sandu@mail.ru;

Әліпов Ә. Е.- магистрант 2 курса, НАО «Шәкәрім университет», Семей, Казахстан, e-mail: lpov.dl@bk.ru;

Свидерская Д. С.- кандидат технических наук, профессор, НАО «Торайгыров университет», Павлодар, Казахстан, e-mail: sofilsev@rambler.ru;

Юсупова Г. Т.- PhD, старший преподаватель, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», Астана, Казахстан,e-mail: gauhar_20_90@mail.ru;

Шадьярова Ж. К.- PhD, старший преподаватель, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», Астана, Казахстан, e-mail: zhazira_shadyarova@bk.ru;

Изтилеуов М. К. - НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им, С. Сейфуллина», Астана, Казахстан, e-mail: m.iztileuov@mail.ru.

IRSTI 65.01.91 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1277**

PERSPECTIVES FOR THE DEVELOPMENT OF ORGANIC WASTE PROCESSING TECHNOLOGIES IN ASTANA CITY CONSIDERING GERMAN EXPERIENCE

[1]K. Mukanova, [2]N. Zayets, [3]M. Tultabayev

[1]Humboldt University of Berlin, Berlin Germany,
[2]Berlin University of Applied Sciences, Berlin, Germany,
[3]K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan

Corresponding author: mukanova-kuralay@mail.ru

The article examines the issues of forecasting the volumes of organic waste generated in the production process at school canteens in Astana city, as well as assessing the potential for their processing into biogas and compost. The research aims to analyze the dynamics of organic waste fraction accumulation and determine opportunities for its rational use in the period 2025–2030. Initial data include statistics on the number of students and calculated waste generation volumes based thereon. The prognostic model was built using MATLAB tools, which allowed identifying a trend of steady growth in the amount of organic waste by 2030. A direct dependence between the increase in the number of students and waste volumes was established, reflecting the need to improve processing systems. Additionally, an assessment of the potential use of waste for biogas and compost production was conducted. For comparison, the German experience is presented, where similar programs for processing organic waste in municipal and educational sectors have shown significant reductions in greenhouse gas emissions and an increase in the share of renewable energy sources. The research results demonstrate that the introduction of similar approaches in Kazakhstan can significantly enhance the environmental sustainability of school infrastructure. The application of mathematical modeling confirmed the effectiveness of digital tools in forecasting and planning environmentally safe waste management technologies.

Keywords: waste management, school nutrition, organic waste, biogas, compost, ecology, sustainable development.

ГЕРМАНИЯ ТӘЖІРИБЕСІН ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, АСТАНА ҚАЛАСЫНДА ОРГАНИКАЛЫҚ ҚАЛДЫҚТАРДЫ ҚАЙТА ӨҢДЕУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ДАМЫТУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

[1]Қ. Мұқанова, [2]Н. Зайец, [3]М. Тултабаев

[1]Гумбольдт атындағы университеті, Берлин, Германия,
[2]Берлин қолданбалы ғылымдар университеті, Берлин, Германия,
[3]Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан
e-mail: mukanova-kuralay@mail.ru

Мақалада Астана қаласының мектеп асханаларында өндіріс процесінде пайда болатын органикалық қалдықтардың көлемін болжау, сондай-ақ оларды биогаз бен компостқа қайта өңдеу әлеуетін бағалау мәселелері қарастырылады. Зерттеудің мақсаты қалдықтардың органикалық фракциясының жинақталу динамикасын талдау және оны 2025-2030 жылдар аралығында ұтымды пайдалану мүмкіндіктерін анықтау болып табылады. Болжамдық модель 2030 жылы органикалық қалдықтардың тұрақты өсу тенденциясын анықтайтын MATLAB құралдарын қолдана отырып жасалған. Қайта өңдеу жүйелерін жетілдіру қажеттілігін көрсететін білім алушылар санының артуы мен қалдықтар көлемі арасында тікелей байланыс орнатылды. Сонымен қатар, биогаз бен компост алу үшін қалдықтарды пайдалану әлеуетін бағалау жүргізілді. Салыстыру үшін Германияның тәжірибесі келтірілген, онда коммуналдық және білім беру секторларындағы ұқсас органикалық қалдықтарды қайта өңдеу бағдарламалары парниктік газдар шығарындыларының айтарлықтай төмендеуін және жаңартылатын энергия көздерінің үлесінің артуын көрсетті. Зерттеу нәтижелері Қазақстанда осындай тәсілдерді енгізу мектеп инфрақұрылымының экологиялық тұрақтылығын айтарлықтай

арттыра алатынын көрсетеді. Математикалық модельдеуді қолдану қалдықтарды басқарудың экологиялық таза технологияларын болжау мен жоспарлауда цифрлық құралдардың тиімділігін растады.

Түйін сөздер: қалдықтарды басқару, мектептегі тамақтану, органикалық қалдықтар, биогаз, компост, экология, тұрақты даму.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ В АСТАНЕ С УЧЕТОМ НЕМЕЦКОГО ОПЫТА

[1]К. Муканова, [2]Н. Зайец, [3]М. Тултабаев

[1]Берлинский университет им. Гумбольдта, Берлин, Германия,
[2]Берлинский университет прикладных наук, Берлин, Германия,
[3]Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
e-mail: mukanova-kuralay@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы прогнозирования объемов органических отходов, образующихся в процессе производства в школьных столовых города Астаны, а также оценки потенциала их переработки в биогаз и компост. Целью исследования является анализ динамики накопления фракции органических отходов и определение возможностей их рационального использования в период 2025-2030 годов. Исходные данные включают статистические данные о количестве учащихся и рассчитанные на их основе объемы образования отходов. Прогностическая модель была построена с использованием инструментов MATLAB, что позволило выявить тенденцию устойчивого роста количества органических отходов к 2030 году. Была установлена прямая зависимость между увеличением числа студентов и объемами отходов, что отражает необходимость совершенствования систем переработки. Кроме того, была проведена оценка потенциального использования отходов для производства биогаза и компоста. Для сравнения представлен опыт Германии, где аналогичные программы по переработке органических отходов в муниципальном и образовательном секторах показали значительное сокращение выбросов парниковых газов и увеличение доли возобновляемых источников энергии. Результаты исследования показывают, что внедрение аналогичных подходов в Казахстане может значительно повысить экологическую устойчивость школьной инфраструктуры. Применение математического моделирования подтвердило эффективность цифровых инструментов в прогнозировании и планировании экологически безопасных технологий обращения с отходами.

Ключевые слова: управление отходами, школьное питание, органические отходы, биогаз, компост, экология, устойчивое развитие.

Introduction. In Kazakhstan, approximately 4.5 million tons of municipal solid waste (MSW) are generated annually, with organic waste constituting a significant share, including food residues, plant fractions, and other biodegradable materials [1]. Their processing allows reducing landfill volumes, obtaining secondary resources (biogas, compost), and lowering greenhouse gas emissions. However, this is possible only if legislative provisions on mandatory separate collection of organics are introduced. For Kazakhstan, the topic of effective organic waste management is particularly relevant due to urban population growth, industrial and agricultural development, and the need to reduce negative environmental impacts [2]. Improper disposal of organic waste leads to soil, water, and air pollution,

greenhouse gas emissions contributing to climate change, as well as the spread of diseases and threats to biodiversity [3]. The main portion of organic waste is generated in the food sector, especially in schools and educational institutions. In school canteens, a large volume of organic waste is produced at the production stage, primarily vegetable waste after sorting and peeling. For

the disposal of generated waste, school canteens conclude contracts with companies that organize collection and removal of garbage; these companies also provide separate containers for food waste collection. The generated waste is not processed; it is transported to city landfills for burial. The volume of this waste will increase annually due to the commissioning of new schools, especially in the capital Astana. In Germany, schools also conclude contracts with local Müllentsorgung (municipal companies), and separately collected bio-waste in special containers goes to composting plants or anaerobic biogas facilities rather than landfills [4]. According to data from Statistisches Bundesamt - the German Federal Statistical Office - in 2023, household waste accounted for 35% or 12.8 million tons. About a quarter of household waste consisted of bio-waste, i.e., organic waste (28%, or 10.1 million tons) [5]. In Germany, strict restrictions on landfilling food waste came into force in 2025. In every municipality, there are organic containers (Bio-Tonne) where food residues suitable for processing must be disposed. Fines are imposed for violations. Regulation is carried out through the Bio-waste Ordinance (BioAbfV), EU Directive 2008/98/EC, and the national strategy to reduce food waste by 2030 [6].

German technology provides for the processing of food waste in the following ways:

1. Biogas plants (e.g., SARIA Bio-Industries, BSN BioService Nord GmbH): organic residues undergo anaerobic digestion, producing biogas and fermented fertilizers.

2. Composting: widely used in agriculture to improve soil structure.

3. Thermochemical conversion: cogeneration plants are used to produce heat and energy.

4. Social and educational programs are also implemented: Foodsharing.de: free distribution of surplus products via a digital platform. School projects (Restlos glücklich, “Down to the last crumb”): training in rational consumption [7].

According to the Federal Environment Agency, in 2022, 14.09 million tons of bio-waste were actually subjected to biological treatment in Germany. Of these, 6.66 million tons were processed at plants operating solely on composting. According to statistical data, 7.44 million tons, or approximately 53% of the total volume of organic waste, were processed at anaerobic digestion plants or combined composting and anaerobic digestion plants. From the collected organic waste, approximately 1.21 million tons of compost from bio-waste, 2.12 million tons of compost from green waste, and 4.02 million tons of digestate and composted digestate were produced [8]. In this context, the German experience, as one of the world leaders in separate collection and processing of bio-waste, is of great interest. The purpose of this article is to assess the potential for processing organic waste from schools in Astana based on German experience using biogas technologies and composting. The following tasks were set: forecasting the generation of organic waste in Astana schools for 2025-2030; forecasting the reduction of greenhouse gas emissions during organic waste processing; forecasting the volumes of organic waste processing and production of biogas and compost.

Materials and methods. To assess the potential volume of organic waste generated in school institutions in Astana, the expert forecasting method was applied based on statistical data on the number of students and specific waste generation per student. This approach allows determining trends in waste volume changes considering demographic growth and seasonal factors, as well as comparing the effectiveness of possible processing scenarios with German experience.

Statistical data on the number of students in general education schools in Astana for 2025 were used [9]. Specific waste norms per student were calculated based on the “Prospective menu layout for organizing nutrition in educational institutions of Astana city,” approved by the head of the Astana Education Department, using vegetable waste norms from the “Collection of recipes for dishes and culinary products for public catering enterprises” [10]. Analyzing statistical data on the number of students in general education schools in Astana from 2010 to 2025, the average

annual growth rate of students in percentage was considered. Considering vacations, a seasonality coefficient was adopted for the 2025 academic year. Based on processing data from literary sources, the share of organic waste processing (for Kazakhstan and Germany) was applied. All initial data are summarized in Table 1.

Table 1 - initial data for 2025

Source / assumption	Indicator	Value	Unit
Statistical data on the number of students in general education schools in Astana for 2025	Number of students	286,633	students
Specific norms of organic waste per student (calculated using own methodology)	Organic waste generation rate	0.02	kg/student·day
Average annual growth rate of the school population	Growth rate	2	% per year
Current recycling rate in Kazakhstan	Recycling rate	10	%
Organic waste recycling rate in Germany	Recycling rate	70	%

The model was implemented in the MATLAB environment. Built-in functions readtable, plot, bar, and disp were used for data analysis and visualization.

Discussion and results. ***Forecast of organic waste generation in astana schools for 2025-2030.***

The conducted modeling showed that the volume of organic waste generated in school institutions in Astana has a steady growth trend due to the increase in the number of schoolchildren and stable food consumption norms. Based on the initial data (see Table 1), the total volume of organic waste was calculated (see Table 2):

Table 2 - Total volume of organic waste in Astana schools for 2025–2030

Year	Number of students	Waste, tons/day	Waste, tons/month
2025	286,633	5.7	137.6
2026	292,365	5.85	140.4
2027	298,212	5.9	141.6
2028	304,176	6.08	146.0
2029	310,259	6.2	149.0
2030	316,464	6.33	151.9

Thus, over five years, an increase in organic waste generation in Astana schools by 12–13% is expected.

Annual dynamics and forecast. Figure 1 presents a graphical interpretation of the annual forecast. The graph reflects a gradual increase in the total waste volume, associated with the growth in the number of students. The growth curve is close to exponential but can be approximated by a linear dependence within the studied period.

Seasonal fluctuations. Analysis of seasonal dynamics (Fig.2) showed significant differences between academic months and the summer vacation period. Minimum values occur in June-August, explained by the absence of school meals, while peaks are observed in October-December and February-April.

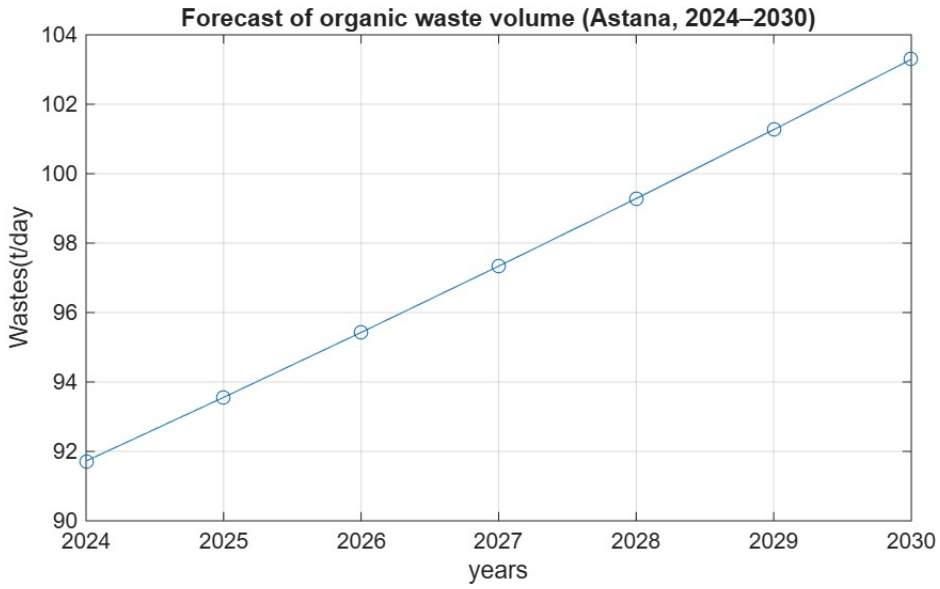


Fig.1 - Forecast of changes in the volume of organic waste in Astana schools for 2024–2030.

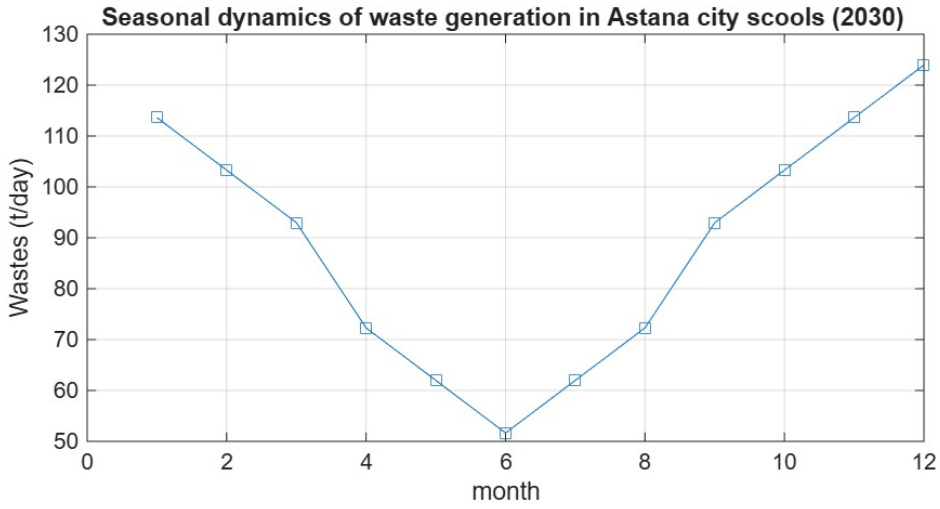


Fig.2 - Seasonal variability of organic waste generation in school institutions (example for 2030).

Such dependence confirms the need for flexible planning of waste removal and processing considering the academic calendar.

Forecast of greenhouse gas emission reductions during organic waste processing.

To assess the environmental effect of organic waste processing, a forecast of carbon dioxide (CO_2) and methane (CH_4) emission reductions for the period 2025-2030 was performed. Calculations were carried out using a mathematical model implemented in MATLAB Online. Initial data were the forecasted volumes of organic waste generation presented in Table 1. For each year, potential greenhouse gas emissions that could arise without processing were calculated and compared with the volumes of avoided emissions as a result of using organic waste for biogas or compost production.

The model accounts for the conversion of avoided methane (CH_4) mass into carbon dioxide equivalent (CO_2-equivalent) using the global warming potential (GWP) of 28 according to IPCC methodology. Modeling results are presented in Figure 3 as an effective measure to reduce anthropogenic greenhouse gas emissions.

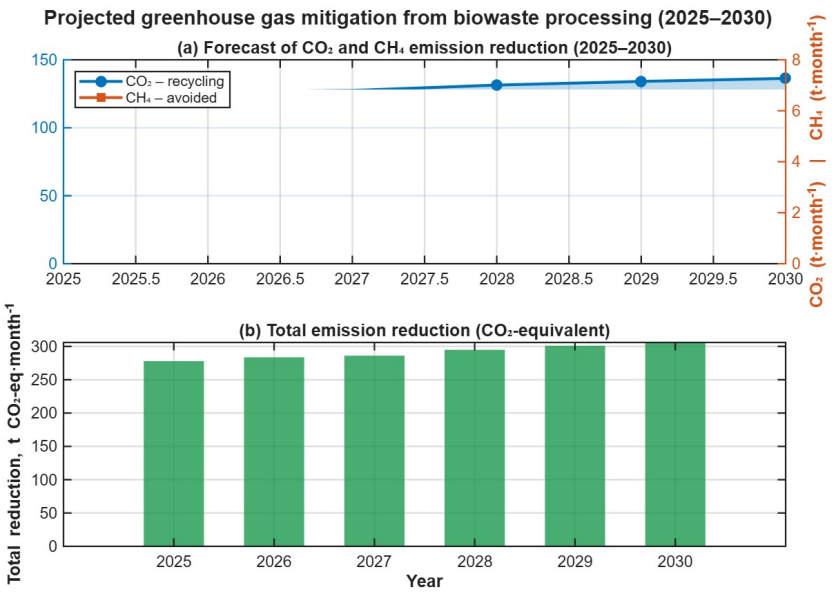


Fig.3 - Forecast of CO_2 and CH_4 emission reductions (a) and total reduction in CO_2-equivalent (b) during organic waste processing in 2025-2030

Where: 3a) shows forecast values of CO_2 emission reductions and avoided CH_4 emissions, 3b) presents the total reduction converted to CO_2-equivalent.

As a result of calculations, it was established that with the processing of the forecasted volume of organic waste, a steady reduction in CO_2 and CH_4 emissions is expected throughout the considered period. The total emission reduction converted to CO_2-equivalent by 2030 may amount to more than 3.6 thousand tons of CO_2-equivalent per month.

Forecast of organic waste processing volumes and biogas and compost production.

One of the key directions for increasing the environmental efficiency of organic waste management is their processing to obtain secondary products - biogas and compost. Such technologies allow simultaneously solving the tasks of reducing greenhouse gas emissions and restoring the resource potential of waste. For quantitative assessment of processing potential, a forecast of biogas and compost yield for the period 2025–2030 was conducted. Initial data were the values of forecasted organic waste volumes (Table 1). Calculations were performed in MATLAB Online using standard product yield coefficients:

$$k_{\text{biogas}} = 100\text{–}120\ \text{m}^3/\text{ton of waste}, \qquad k_{\text{compost}} = 0.25\text{–}0.35\ \text{t/ton of waste} \tag{1}$$

Biogas and compost yields were calculated using the formulas:

$$V_{\text{biogas}} = Q_{\text{waste}} \times k_{\text{biogas}}, \qquad M_{\text{compost}} = Q_{\text{waste}} \times k_{\text{compost}} \tag{2}$$

where Q_{waste} is the volume of processed organic waste (tons/month).

Calculation results showed that with the forecasted increase in organic waste from 137.6 t/month in 2025 to about 155 t/month by 2030, biogas yield may increase from 13.8-16.5 thousand m³/month to 15.5-18.6 thousand m³/month. The compost volume increases from 34-48 t/month to 39-54 t/month (Table 2). Figure 4 presents the modeling results of biogas production and compost obtaining dynamics in 2025-2030.

A steady increase in indicators is noted as organic

waste processing volumes grow. Value ranges reflect possible variations in yield coefficients depending on waste composition and processing technology. The width of the shaded area reflects the uncertainty range associated with variations in technological yield coefficients. Thus, the authors [11] demonstrated various methods for extracting polyphenols, dietary fibers, and proteins from food waste, which can be used in functional food systems (Fig.5).

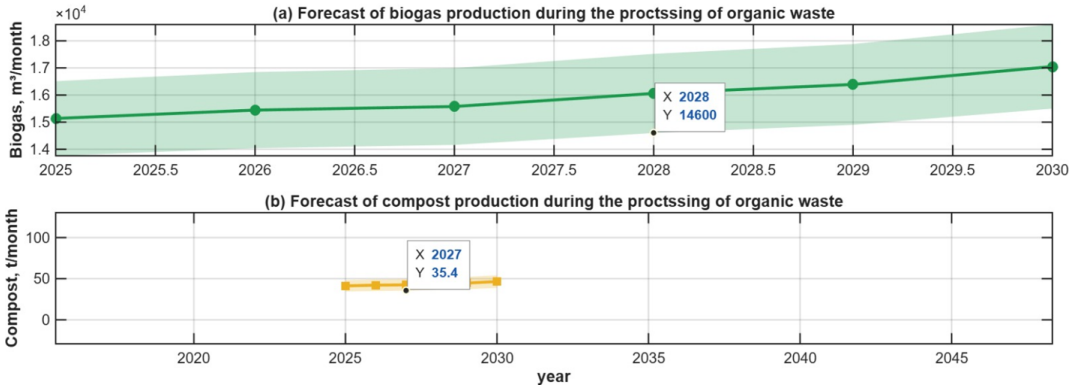


Fig.4 - Forecast of biogas production (a) and compost obtaining (b) during organic waste processing in 2025-2030

Where: 4a - change in forecasted biogas volume; 4b - trend of compost production growth

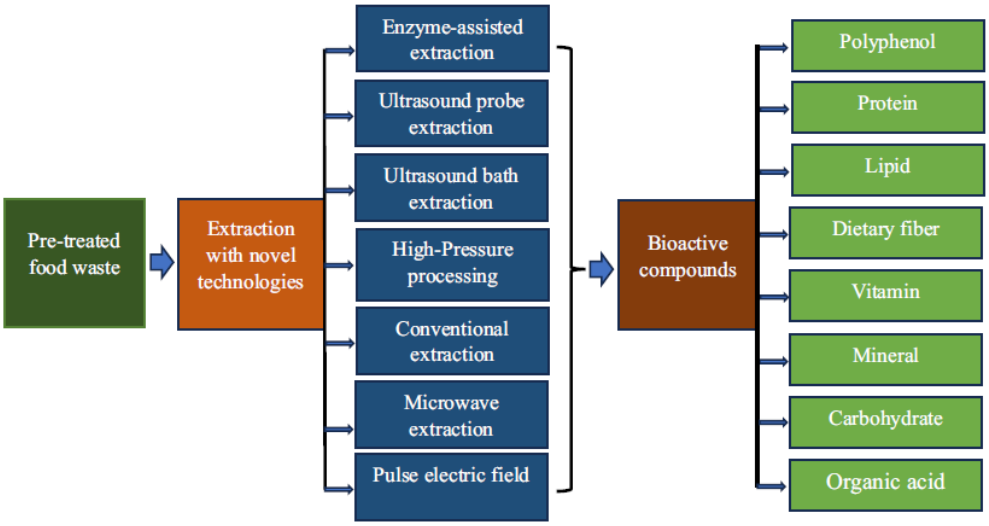


Fig.5 - Process of extracting biologically active substances from food waste

Overall, the results indicate a significant resource-energy potential of organic waste. Even with a conservative estimate (100 m³ of biogas per 1 ton of waste), the total volume of produced biogas can provide up to 3.9×10^9 kJ/year, equivalent to more than 1000 MWh of electricity. Thus, comprehensive processing of organic waste can make a significant contribution to the development of renewable energy and reduction of the region' s carbon footprint.

Scenario comparison of organic waste processing in countries: Kazakhstan and Germany.

To assess the potential for implementing foreign experience, a comparison of two scenarios was built: Current situation (Kazakhstan) - about

10% of organic waste is processed. German experience - processing reaches 70% due to a developed collection system and biogas plants. Calculation results (Fig.6) showed that transitioning to the German processing level would increase the volume of utilized organics by more than 7 times, significantly reducing the load on landfills and greenhouse gas emissions.

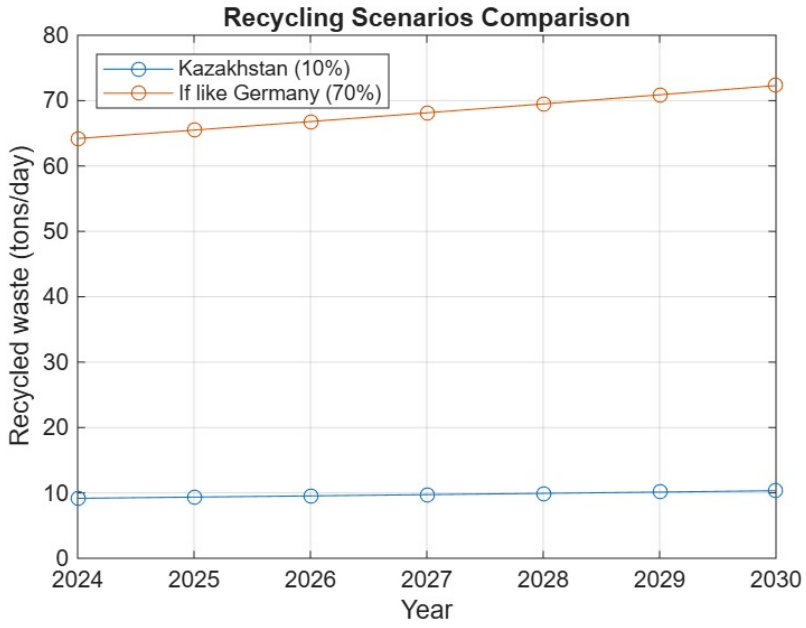


Fig.6 - Comparison of forecasted volumes of processed organic waste: current level (10%) and German level (70%).

The analysis shows that transitioning to an effective organic waste processing system similar to the German one can become a significant contribution to the city' s environmental sustainability. The most promising direction is the introduction of school programs for separate bio-waste collection, creation of mini-biogas plants, and information-educational projects among students. In addition, the model can be adapted for: assessing waste in other educational or social institutions, forecasting biogas volumes during organic processing, planning waste processing infrastructure on a city or regional scale.

Conclusions. The conducted research aimed at analyzing and forecasting the volumes of organic waste in school institutions in Astana showed that the bio-waste management system has significant potential for development and environmental effect.

The expert model developed in MATLAB allowed: assessing the current volume of organic waste generation in Astana schools (about 5.7 tons per day); forecasting waste volume growth to 149 tons per month by 2030 with a 2% annual increase in students; identifying seasonal dependence of waste generation, with a minimum in summer months and maximum during the academic period; conducting a scenario comparison between the current processing level (10%) and the German level (70%), showing the possibility of a sevenfold increase in organic utilization. Thus, modeling results confirm the need to implement a comprehensive program for managing organic waste in the city' s educational institutions. The German experience in organic waste processing can be successfully adapted for Kazakhstan with methodological, infrastructural, and educational support. The proposed MATLAB model is a tool that can be used both for scientific analysis and for planning in the real economy sector.

Литература

1. Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2023 год.URL https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo/documents/details/762991?lang=ru. Дата обращения: 17.07.2025

2. Tultabayev M., Zhumanova D. Optimization of the protein product formulation based on safflower production waste, BIO Web of Conferences. Agro-Bio-Technologies 2023 - Innovative Solutions for the Development of the Industry. -Vol.64:01018. DOI 10.1051/bioconf/20236401018.

3. Муканова К., Нурушев М.Ж. «Развитие гражданского общества в Казахстане – основа чистоты окружающей среды», Материалы международной научно-практической конференции «Global Science and Innovations V», Гданск, Польша.10.02.2019, с.221-225.

4. Collaborating Centre on Sustainable Consumption and Production (CSCP). Local cooperation for circular biowaste in schools: FoodLoops project materials [Electronic resource]. – Wuppertal, 2025. https://www.cscp.org/wp-content/uploads/2025/03/FOODLOOP_Publication.pdf?utm_source=chatgpt.com

5. Statistisches Bundesamt. https://www.destatis.de/DE/Home/_inhalt.html. Accessed at 17.07.2025

6. Bioabfallverordnung (BioAbfV): Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf land-, forst- und gartenwirtschaftlich genutzten Flächen = Ordinance on the Utilisation of Bio-waste on Land used for Agricultural, Silvicultural and Horticultural Purposes [Electronic resource] / Bundesrepublik Deutschland. – 21 Sept.1998, last amended by Art.1 of the Ordinance of 28 Apr.2022 (BGBl. I S.700 ff.). - Dessau-Roßlau: UBA, 2012 (English translation). URL: https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/bioabfv_engl_bf.pdf Accessed at 17.07.2025.

7. Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz Berlin. Biotonne – Bioabfall wird zu Biogas und Kompost [Electronic resource]. - Berlin: SenUMVK, 2023. Access mode: URL: https://www.kununu.com/de/senatsverwaltung-fuer-umwelt-mobilitaet-verbraucher-und-klimaschutz1/kommentare.- Accessed at 17.07.2025.

8. Federal Environment Agency website. Umweltbundesamt | Für Mensch und Umwelt.- Accessed at 17.07.2025.

9. Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. https://stat.gov.kz/ru/region/astana/dynamic-tables/1473/.- Accessed at 17.07.2025.

10. Сборник рецептур для предприятий общественного питания. - М.: Экономика, 1982.- 600 с.

11. Mia, M.S., Ahmed, M.M. & Zaman, W. Valorization of food waste into functional ingredients supports a sustainable strategy for the food industry// Discov Food. -2025.-Vol.5(1): 275 (2025). DOI 10.1007/s44187-025-00584-3.

References

1. Nacional’ nyj doklad o sostojanii okruzhajushhej sredy i ob ispol’ zovanii prirodnyh resursov Respubliki Kazahstan za 2023 god. URLhttps://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo/documents/details/762991?lang=ru.Data obrashhenija: 17.07.2025. [in Russian]

2. Tultabayev M., Zhumanova D. Optimization of the protein product formulation based on safflower production waste, BIO Web of Conferences. Agro-Bio-Technologies 2023 - Innovative Solutions for the Development of the Industry. -Vol.64:01018. DOI 10.1051/bioconf/20236401018.

3. Mukanova K., Nurushev M.Zh. «Razvitie grazhdanskogo obshhestva v Kazahstane - osnova chistoty okruzhajushhej sredy», Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Global Science and Innovations V», g. Gdansk, Pol’ sha.10.02.2019, s. 221-225.3. Mukanova K., Nurushev

M.Zh. «Razvitie grazhdanskogo obshhestva v Kazahstane -chistoty okruzhajushhej sredy», Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Global Science and Innovations V», g. Gdansk, Pol' sha.10.02.2019, s. 221-225. [in Russian]

4. Collaborating Centre on Sustainable Consumption and Production (CSCP). Local cooperation for circular biowaste in schools: FoodLoops project materials [Electronic resource]. – Wuppertal, 2025. https: //www.cscp.org/wp-content/uploads/2025/03/FOODLOOP_Publication.pdf?utm_source=chatgpt.com. Accessed at 17.07.2025.

5. Statistisches Bundesamt. https://www.destatis.de/DE/Home/_inhalt.html. Accessed at 17.07.2025.

6. Bioabfallverordnung (BioAbfV): Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf land-, forst- und gartenwirtschaftlich genutzten Flächen = Ordinance on the Utilisation of Bio-waste on Land used for Agricultural, Silvicultural and Horticultural Purposes [Electronic resource] / Bundesrepublik Deutschland. – 21 Sept.1998, last amended by Art.1 of the Ordinance of 28 Apr.2022 (BGBl. I S.700 ff.). - Dessau-Roßlau: UBA, 2012 (English translation). URL: https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/bioabfv_engl_bf.pdfAccessed at 17.07.2025.

7. Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz Berlin. Biotonne – Bioabfall wird zu Biogas und Kompost [Electronic resource]. – Berlin: SenUMVK, 2023. – Access mode: URL: https://www.kununu.com/de/senatsverwaltung-fuer-umwelt-mobilitaet-verbraucher-und-klimaschutz1/kommentare.- Accessed at 17.07.2025.

8. Federal Environment Agency website. Umweltbundesamt | Für Mensch und Umwelt.- Accessed at 17.07.2025.

9. Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. https://stat.gov.kz/ru/region/astana/dynamic-tables/1473/.- Accessed at 17.07.2025.

10. Sbornik receptur dlja predprijatij obshhestvennogo pitanija. - M.: Jekonomika, 1982.- 600 s. [in Russian]

11. Mia, M.S., Ahmed, M.M. & Zaman, W. Valorization of food waste into functional ingredients supports a sustainable strategy for the food industry// Discov Food. - 2025.-Vol.5(1): 275 (2025). DOI 10.1007/s44187-025-00584-3.

Information about the authors,

Mukanova K. - PhD, Humboldt University of Berlin, Berlin, Germany, e-mail: mukanova-kuralay@mail.ru;

Zayets N. - Doctor of Technical Sciences, Berlin University of Applied Sciences, Berlin, Germany, e-mail: nataliia.zaiets@bht-berlin.de;

Tultabayev M. - Doctor of Technical Sciences, professor-researcher, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: shomanyli@mail.ru.

Сведения об авторах

Муканова К. - PhD, Берлинский университет им. Гумбольдта, Берлин, Германия, e-mail: mukanova-kuralay@mail.ru;

Зайец Н. - доктор технических наук, профессор, Берлинский университет прикладных наук, Берлин, Германия, e-mail: nataliia.zaiets@bht-berlin.de;

Тултабаев М. - доктор технических наук, профессор-исследователь, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: shomanyli@mail.ru.

ҒТАМР 06.77.05 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-881**

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ КАДРЛАРДЫ БАСҚАРУДЫҢ МЕМЛЕКЕТТІК АУДИТІ: НЕГІЗГІ ҚИЫНДЫҚТАР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ЖЕҢУ ЖОЛДАРЫ

А.Р. Мукушева, М.А. Серикова

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Казақстан

Корреспондент-автор: suleimenova.ar@bk.ru

Кадрлық ресурстарын басқарудың мемлекеттік аудиті мемлекеттің кадрлық әлеуетін дамытудың маңызды аспектісі болып табылады. Кадрлық ресурстары Қазақстан Республикасы мемлекеттік қызметшілерінің басқару құрылымының нақты архитектурасын құруға жауапты механизмді білдіреді. Мемлекеттік басқарудағы кадрлық ресурстарының рөлін күшейту мемлекет алдына қойылған стратегиялық мақсаттарға қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Жаһандық өзгерістер үнемі болып жатқан қазіргі қоғамда ішкі ортаға әсер ететін факторларды, атап айтқанда, елдің кадрлық әлеуетін дамыту тұрғысынан ескеру маңызды, бұл өз кезегінде кадрлық ресурстарының мемлекеттік аудитінде маңызды рөл атқара алады.

Кадрлық ресурстарын дамытудың жоғары деңгейі елдің ұлттық экономикасының тұрақты дамуына ықпал етеді. Кадрлық ресурстарының мемлекеттік аудитіне маңызды рөл берілуі керек, өйткені тек мемлекеттік аудит қана кадрлық ресурстарын пайдалану тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді. Айта кету керек, бүгінгі таңда кадрлық ресурстарының тиімділігіне аудит жүргізудің нақты стратегиясын әзірлеу тетіктері жоқ, бұл өз кезегінде осы күрделі міндеттерді шешуде бірқатар проблемалар бар деп қорытынды жасауға мүмкіндік береді.

Бұл мақаланың мақсаты – Қазақстандағы кадрлық ресурстарын басқарудың мемлекеттік аудитін зерттеу саласындағы өзекті проблемаларды және оларды еңсеру жолдарын зерттеу. Мақсатқа сәйкес мақалада Қазақстандағы кадрлық ресурстарын басқару аудиті жүйесінің ағымдағы жай-күйінің талдауы берілген, мемлекеттік органдардың кадр саясатына аудит жүргізудегі негізгі проблемалар мен кемшіліктер анықталған, аудит әдістерін жетілдіру және қызметтің негізгі көрсеткіштері (KPI) жүйесін жетілдіру бойынша ұсыныстар әзірлеу мүмкіндігі қарастырылған.

Үнемі өзгеріп отыратын ортада еліміздің стратегиялық мақсаттарына сәйкес басқаруды тиімді жүргізу үшін елдің кадрлық әлеуетін дамытуға әсер ететін барлық факторларды ескеру маңызды.

Түйін сөздер: аудит, кадрлық ресурстартар, кадрлық ресурстарының тиімділік аудиті

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АУДИТ УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВЫМИ РЕСУРСАМИ В КАЗАХСТАНЕ: КЛЮЧЕВЫЕ ВЫЗОВЫ И ПУТИ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ

А.Р. Мукушева, М.А. Серикова

Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан,
e-mail: suleimenova.ar@bk.ru

Государственный аудит управления кадровыми ресурсами является важным аспектом в развитии кадрового потенциала государства. Кадровые ресурсы представляют собой механизм, отвечающий за построение четкой архитектуры управленческой структуры государственных служащих Республики Казахстан. Усиление роли кадровых ресурсов в государственном управлении позволит решить стратегические цели поставленные перед государством.

В современном обществе, где постоянно происходят глобальные изменения, важно учитывать факторы, влияющие на внутреннюю среду, в частности в свете развития кадрового потенциала страны, который в свою очередь может оказывать немаловажную роль на государственный аудит кадровых ресурсов.

Высокий уровень развития кадровых ресурсов способствует устойчивому развитию национальной экономики страны. Важную роль следует уделить государственному аудиту кадровых ресурсов, ведь только государственный аудит позволит оценить эффективность использования работы кадровых ресурсов. Следует отметить, что на сегодняшний день отсутствуют механизмы по выработке четкой стратегии проведения аудита эффективности кадровых ресурсов, что в свою очередь позволяет сделать выводы, о том, что существует ряд проблем в решении этих сложных задач.

Целью, поставленной в настоящей статье, является изучение имеющихся ключевых вызовов в области исследования государственного аудита управления кадровыми ресурсами в Казахстане и путей их преодоления. В соответствии с целью в статье представлены проведенный анализ текущего состояния системы аудита управления кадровыми ресурсами в Казахстане, выявлены ключевые проблемы и недостатки в проведении аудиторских проверок кадровой политики государственных органов и рассмотрена возможность разработки рекомендаций по совершенствованию методов аудита и совершенствованию системы ключевых показателей эффективности (KPI).

В постоянно меняющихся условиях важно учитывать все факторы, влияющие на развитие кадровых ресурсов страны с целью эффективного управления в соответствии со стратегическими целями нашей страны.

Ключевые слова: аудит, кадровые ресурсы, аудит эффективности кадровых ресурсов

STATE AUDIT OF HUMAN RESOURCE MANAGEMENT IN KAZAKHSTAN: KEY CHALLENGES AND WAYS TO OVERCOME THEM

A.R. Mukusheva, M.A. Serikova

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
e-mail: suleimenova.ar@bk.ru

State audit of human resources management is an important aspect in the development of the state' s human resources potential. Human resources are a mechanism responsible for building a clear architecture of the management structure of civil servants of the Republic of Kazakhstan. Strengthening the role of human resources in public administration will allow achieving the strategic goals set for the state.

In a modern society where global changes are constantly taking place, it is important to take into account the factors influencing the internal environment, in particular in light of the development of the country' s human resources potential, which in turn can have a significant role in the state audit of human resources.

A high level of development of human resources contributes to the sustainable development of the national economy of the country. An important role should be given to the state audit of human resources, because only a state audit will allow us to assess the efficiency of using human resources. It should be noted that today there are no mechanisms for developing a clear strategy for conducting an audit of the efficiency of human resources, which in turn allows us to conclude that there are a number of problems in solving these complex tasks.

The purpose of this article is to study the existing key challenges in the field of research of state audit of human resources management in Kazakhstan and ways to overcome them. In accordance with the purpose, the article presents the analysis of the current state of the human resources management audit system in Kazakhstan, identifies key problems and shortcomings in conducting audits of the personnel policy of state bodies and considers the possibility of developing recommendations for improving audit methods and improving the system of key performance indicators (KPI).

In a constantly changing environment, it is important to take into account all factors that influence the development of the country' s human resources in order to effectively manage in accordance with the strategic goals of our country.

Keywords: audit, human resources, human resource efficiency audit

Кіріспе. Қазіргі заманғы әлеуметтік-экономикалық жағдайлар Қазақстан Республикасының мемлекеттік органдарында кадр ресурстарын жоғары сапалы басқаруды талап етеді. Мемлекеттік бағдарламаларды іске асырудың тиімділігін және еліміздің халықаралық аренадағы бәсекеге қабілеттілігін анықтайтын негізгі фактор - кадрлық ресурстар.

Жаһандану мен бәсекелестіктің күшеюі жағдайында мемлекеттік қызметшілерді басқару жүйесін жетілдіру қажеттілігі артып отыр, бұл осы жұмыстың тиімділігін объективті бағалай алатын құралдарды әзірлеуді және енгізуді талап етеді. Осындай құралдардың бірі – мемлекеттік органдардың кадрлық ресурстарын басқару саласындағы қызметіне бақылауды қамтамасыз ететін мемлекеттік аудит [1-3].

Қазақстандағы кадрлық ресурстарын басқарудың мемлекеттік аудитін зерттеудің өзектілігі мемлекеттік қызметтің тиімділігін арттыру, кадрлық процестерді оңтайландыру және кадрлықи капиталды пайдаланудағы жауапкершілікті арттыру қажеттілігімен түсіндіріледі. Ұлт жоспары - 100 нақты қкадрлық және Мемлекеттік қызметті дамыту тұжырымдамасы сияқты стратегиялық бастамаларды жүзеге асыру тұрғысында персоналды сапалы басқару мәселелері бірінші орынға шығады.

Білікті кадрлардың тапшылығы, іріктеу және жоғарылату рәсімдерінің жеткіліксіз ашықтығы, сондай-ақ мемлекеттік қызметшілерді ынталандыру және қызметін бағалау жүйесінің жетілмегендігі сияқты заманауи сын-қатерлер еліміздің стратегиялық мақсаттарына қол жеткізуге кері әсерін тигізуі мүмкін. Персоналды басқару мәселелеріне жеткіліксіз көңіл бөлу бюрократиялық жүктеменің артуына, еңбек өнімділігінің төмендеуіне және мемлекеттік органдардың институционалдық әлеуетінің әлсіреуіне әкеледі.

Осы тұрғыда кадрлық ресурстарды басқарудың мемлекеттік аудиті кадрлық саясаттың тиімділігін жүйелі талдауды қамтамасыз етудің негізгі құралы болып табылады. Оның рөлі бұзушылықтарды анықтау ғана емес, сонымен қатар персоналды басқару тиімділігін арттыру бойынша деректерге негізделген ұсыныстарды қалыптастыру болып табылады. Аудит тетіктерін әзірлеу кадрлық шешімдердің стратегиялық басымдықтарға сәйкестігін объективті бағалауға, кадрлық ресурстарын тиімсіз бөлумен байланысты тәуекелдерді анықтауға және оларды барынша азайту тетіктерін әзірлеуге мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, заманауи технологиялар мен аудит әдістері, соның ішінде HR процестерін цифрландыру, үлкен деректер мен жасанды интеллект пайдалану, басқару шешімдерінің ашықтығы мен негізділігін арттыру үшін жаңа мүмкіндіктер туғызады. Кадрлық аудитте аналитикалық құралдарды пайдалану кадрлар қажеттілігін болжауды жақсартуға, жекелендірілген оқыту бағдарламаларын әзірлеуге және мемлекеттік қызметтің жалпы бәсекеге қабілеттілігін арттыруға көмектеседі.

Бастапқы мақсат - адам ресурстарын басқарудың мемлекеттік аудиті саласындағы негізгі міндеттер мен шешімдерді зерделеу - нақты нәтижеге әкелуі керек: Қазақстан Республикасының мемлекеттік органдары үшін салалық стандартты кадрлық аудиттің тұжырымдамалық моделін әзірлеу. Бұл модель Есеп комитеті мен мүдделі министрліктер үшін бөлшектелген аудиттен адами капиталды пайдалану тиімділігін кешенді бағалауға көшуге мүмкіндік беретін практикалық құрал болады.

Күтілетін ғылыми серпіліс үлкен деректерге негізделген болжамды талдауды мемлекеттік кадрлық аудит жүйесіне біріктіру әдістемесін әзірлеу болып табылады, ол бұзушылықтарды анықтаудан HR тәуекелдерін болжауға көшуге мүмкіндік береді. Бұл мемлекеттік бағдарламалар бойынша оқытуға инвестиция мен қызметкерлердің ауысуы көрсеткіштері арасындағы корреляция сияқты кадрлық процестердегі жасырын заңдылықтарды анықтауға негізделген қазақстандық тәжірибе үшін түбегейлі жаңа аудит функциясы. Ұсынылған модельдің тиімділігі мемлекеттік органдардың стратегиялық мақсаттарына сәйкестендірілген динамикалық KPI енгізу және екі жыл ішінде пилоттық агенттіктердегі кадрлардың тұрақтамауын 5-7%-ға қысқарту сияқты нақты көрсеткіштер арқылы бағаланатын болады. Аудиттің цифрландыруын

өлшеу үшін мамандандырылған бағдарламалық платформалардың арқасында HR тәуекелінің автоматтандырылған есептерінің үлесі және деректерді жинау мен талдау уақытын 30%-ға қысқарту сияқты көрсеткіштер қолданылады.

Зерттеудің күтілетін нәтижесі Қазақстанның ерекшеліктеріне бейімделген кадрлық ресурстарын басқарудың мемлекеттік аудитін жүргізудің кешенді әдістемесін әзірлеу болып табылады. Осы тұжырымдарды іс жүзінде енгізу мемлекеттік қызметшілер үшін жақсартылған KPI жүйесін енгізумен қатар кадрлық саясаттың тиімділігін бағалаудың бірыңғай стандарттарын жасауға мүмкіндік береді. Жасанды интеллект элементтері бар мамандандырылған платформаларды енгізу арқылы аудит процестерін цифрландыру болжамдық аналитикаға және кадрлықи капиталдың объективті мониторингіне көшуді жеңілдетеді. Ұлттық оқу орталығын құру арқылы құрылған аудиторлардың біліктілігін үздіксіз арттыру жүйесі кадрлық аудиттің сапасын арттыруға мүмкіндік береді. Кері байланыс тетіктерін енгізу және аудиттің ашықтығын арттыру HR шешімдері үшін басқарушылық жауапкершілікті күшейтеді.

Осылайша, кадрлық ресурстарын басқару тиімділігін тексеру мәселелерін зерттеу қазіргі заманғы талаптарға жауап беріп қана қоймайды, сонымен қатар кәсіби, құзыретті және нәтижеге бағытталған мемлекеттік аппаратты қалыптастырудың негізін қалайды.

Зерттеудің міндеттері:

1. Қазақстандағы кадрлық ресурстарын басқару аудит жүйесінің ағымдағы жағдайына талдау жүргізу;

2. Мемлекеттік органдардың кадр саясатына аудит жүргізудегі негізгі проблемалар мен кемшіліктерді анықтау;

3. Аудит әдістерін жетілдіру және қызметтің негізгі көрсеткіштері жүйесін (KPI) жетілдіру бойынша ұсыныстар әзірлеу.

Зерттеу объектісі Қазақстанның мемлекеттік органдарындағы кадрлық ресурстарын мемлекеттік басқару жүйесі.

Зерттеу пәні мемлекеттік органдарда кадрлық ресурстарын басқару тиімділігіне аудит жүргізудің әдіснамалық аспектілері болып табылады.

Мақалада қолданылған зерттеу әдістеріне мыналар жатады:

- қолданыстағы аудит тәжірибесін жүйелі және салыстырмалы талдау;

- ұсыныстарды қалыптастырудың проблемалық зерттеу әдісі;

- кадрлық ресурстарын пайдалануды статистикалық талдау.

Осы мақаланың мазмұны кадрлық ресурстарының мемлекеттік аудитінің әдіснамалық тәсілдерін әзірлеуге бағытталған. Зерттеу нәтижелерін мемлекеттік қызметтің ашықтығы мен тиімділігін арттыру, сондай-ақ мемлекеттік органдардағы персоналды басқаруды оңтайландыру үшін пайдалануға болады. Ұсынылған ұсыныстарды іске асыру персоналды басқару үдерісін жақсартуға және мемлекеттік бағдарламаларды іске асыру тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Материалдар мен әдістер. Материалдар мен тәсілдер. Қазақстан Республикасының Президенті Қасым-Жомарт Кемелұлы Тоқаевтың 2024 жылғы 2 қыркүйектегі Қазақстан халқына жолдауында: «Еліміздің кадрлық әлеуетін дәйекті түрде арттыру маңызды. Экономиканы білікті кадрлармен қамтамасыз ету - ең өзекті мәселе. Адал, қажырлы еңбек арқылы жетістікке жеткен кадрлықдар әрқашан құрмет пен құрметке бөленуі керек. Бұл біздің «Жауапты азамат - адал еңбек - лайықты табыс» қағидатымызға толық сәйкес келеді.

Ешқандай жаман жұмыс жоқ; Ең бастысы, әрбір азамат өз міндетін адал атқарса, жауапкершілікті терең сезінеді. Сонда ғана еліміз ілгерілеу жолында биіктерге жетеді. Біздің қоғамда адал да жауапты еңбек міндетті түрде бағаланады деген түсінік қалыптасуы керек. Бұл мақсатқа азаматтарға құрметті атақтар беру де қызмет етеді» [4].

Қазақстан Республикасы Президентінің жолдауында айтылған кадр саясаты саласындағы басымдықтар кадрлық ресурстарын басқару тиімділігін арттырудың стратегиялық қажеттілігін

көрсетеді. Алға қойылған мақсаттарға жету персоналмен жұмыстың ашық, есеп беретін және тиімді жүйесін қалыптастырмайынша мүмкін емес, бұл өз кезегінде заманауи бақылау және аудит тетіктерін енгізуді талап етеді.

Кадрлық ресурстарын басқарудың мемлекеттік аудиті - бұл кадрлық үдерістердегі бұзушылықтар мен кемшіліктерді анықтау құралы ғана емес, кадр саясатының елдің ұзақ мерзімді стратегиялық бағдарларына сәйкестігін жүйелі түрде бағалау тетігі. Ол мемлекеттік органдардың меритократия қағидаттарын қаншалықты тиімді жүзеге асырып жатқанын бағалауға, қызметкерлердің кәсіби өсуі мен мотивациясына жағдай туғызып, кадрлықи капиталды ұтымды пайдалануды қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Мемлекеттік аудиттің негізгі аспектілерінің бірі кадрларды іріктеу, дамыту және сақтау жүйесінің тиімділігін бақылау болып табылады. Цифрлық трансформация және мемлекеттік қызметшілердің құзыреттеріне қойылатын талаптардың өзгеруі жағдайында персоналды басқарудағы дәстүрлі тәсілдер енді кадрлық ресурстарын басқару жүйесінің жаңа міндеттерге сай болуын толық қамтамасыз ете алмайды. Бұл аналитикалық құралдарды, үлкен деректер технологияларын және персонал қажеттілігін болжау әдістерін енгізуді өзекті етеді.

Осылайша, кадрлық ресурстарын басқарудың мемлекеттік аудиті тек нормативтік талаптардан ауытқуларды анықтауға ғана емес, сонымен қатар кадр саясатының тиімділігін арттыру бойынша стратегиялық ұсыныстарды қалыптастыруға бағытталуы тиіс. Қазақстандағы кадрлық ресурстарын басқару жүйесінің алдында тұрған негізгі қиындықтарды, сондай-ақ оларды еңсерудің ықтимал жолдарын егжей-тегжейлі қарастырайық.

Кадрлық ресурстарын басқарудың мемлекеттік аудиті мемлекеттік аппараттың тиімді жұмыс істеуінің құрамдас бөлігі болып табылады. Соңғы жылдары зерттеушілер Қазақстандағы кадрлық ресурстарын басқарудағы проблемаларды анықтауға және оларды оңтайландырудың шешімдерін ұсынуға назар аударды. Ғылыми әдебиеттерде авторлар мемлекеттік аудиттің әртүрлі аспектілерін, кадрлық ресурстарын басқаруды және цифрландырудың елдегі кадрлық саясатқа әсерін көрсететін негізгі мәселелерді қарастырады.

Bratton, J. & Gold, J. адам ресурстарын мемлекеттік басқару функцияларын орындау үшін қажетті қызметкерлердің кәсіби білімдерінің, дағдыларының, құзыреттерінің және әлеуетінің жиынтығы ретінде анықтайды [5].

Lawler, E. E. & Boudreau, J. W. адам ресурстарын қызметкерлерді ғана емес, сонымен бірге олардың өзара әрекеттесу, оқыту және өзгермелі жағдайларға бейімделу жүйелерін қамтитын стратегиялық актив ретінде қарастырады [6].

Қазақстандағы кадрлық ресурстарын басқарудың мемлекеттік аудиті мемлекеттік органдарда кадрлық әлеуетін тиімді пайдалануды қамтамасыз етудің маңызды құралы болып табылады.

Саунин А.Н. кадрлық ресурстарын басқару контекстінде мемлекеттік аудиттің теориялық негіздері мен практикалық аспектілеріне назар аударады. Автор еңбек нарығындағы және мемлекеттік құрылымдардағы өзгермелі жағдайларға байланысты неғұрлым икемді және бейімделген бақылау әдістерін енгізу қажеттілігі туралы дәлелдер келтіре отырып, мемлекеттік органдарда аудит жүргізудің қолданыстағы әдістерін талдайды. Саунин Қазақстанда аудитті мемлекеттік сектордағы кадрлық ресурстарын басқарудың нақты тәжірибесімен байланыстыратын кешенді тәсілдер жоқ екенін атап өтті.

Жұмыс мемлекеттік аудиторлардың біліктілігін арттырудың және кадрлық үдерістердің мониторингін жақсартудың маңыздылығын көрсетеді [7].

Климанов В.В., Казакова С.М., Яговкин В.А. зерттеулерінде қаржылық аудит призмасы арқылы кадрлық ресурстарын бақылауға қатысты мәселелер талқыланады. Авторлар кадрлық шығындарды бюджеттеу және қызметкерлерді оқыту мен біліктілігін арттыру үшін мемлекеттік қаражатты пайдалану тиімділігі сияқты қаржылық аспектілерді есепке алмай кадр саясатын оңтайландыру мүмкін емес деп санайды. Авторлар

персонал шығындарын бағалауды да, персоналмен жұмыс тиімділігін де қамтуы тиіс аудитке кешенді тәсілдің маңыздылығын атап көрсетеді [8].

Алибекова Б.А., Алдынғарова Д.Т. өз мақалаларында кадрлық ресурстарын басқару контекстінде қолданыстағы аудит әдістеріне талдау жасайды. Авторлар екі негізгі аспектіні атап көрсетеді: біріншісі – халықаралық стандарттарды Қазақстанның ерекшеліктеріне бейімдеу қажеттілігі, екіншісі - заңнамалық өзгерістер мен елдегі әлеуметтік-экономикалық жағдай сияқты түрлі факторлардың аудитті жүргізуге әсері. Олар персонал саясаты аудитінің сапасын арттыру үшін аудиторлық кадрларды даярлауды жақсарту және жаңа ақпараттық технологияларды енгізу қажеттігін атап көрсетеді [9].

Боқаев Б.Н., Төребекова З.Т., Жаров Е.Қ., Бактиярова Б.Н. өз зерттеулерінде Қазақстанның мемлекеттік қызметіндегі кадрлық ресурстарын тиімді басқару үшін кадрлық стратегия мен саясатты әзірлеу қажеттігін атап көрсетеді. Авторлар кадрлықи капиталды басқару тетіктері лауазымдарға тағайындау және жоғарылату рәсімдерін қамтиды, бұл жүйелі көзқарас пен үздіксіз жетілдіруді талап етеді [10].

«Қазақстан Республикасындағы мемлекеттік аудитті жүзеге асыру тұжырымдамасына» сәйкес мемлекеттік аудит тек қаржылық аспектілерді ғана емес, сонымен қатар олардың қызметінің барлық салаларын, оның ішінде кадрлық ресурстарын басқаруды қамтитын аудиттелетін субъектілер қызметінің тиімділігін кешенді және тәуелсіз бағалау ретінде қарастырылады. Құжат тиімді ұсынудың маңыздылығын көрсетеді анықталған кемшіліктерге негізделген ұсыныстар мен тәуекелдерді басқару бойынша ұсыныстар [11].

«Мемлекеттік органдардағы кадр қызметінің мәртебесін жақсарту» зерттеуінде Қазақстанның мемлекеттік қызметіндегі қайта құрулар, оның ішінде кадр қызметі құрылымын автоматтандыру және орталықтандыру қарастырылған. Авторлар мемлекеттік органдардың алдында тұрған нақты мәселелерді шешу үшін сенімді және тиімді мемлекеттік аппаратты қалыптастыру қажеттігін атап көрсетеді [12].

Шаймерденова Т.А., Жетпісбаева М.Қ. «Қазақстандағы мемлекеттік қызметшілердің мотивациялық аспектілері экономиканы цифрландыру жағдайында» атты мақаласында персоналды ынталандыру призмасы арқылы мемлекеттік басқарудың сапасын арттыру мәселелерін қарастырады. Авторлар цифрландыру жағдайында кадрлық әлеуетін дамытуға және кадр саясатын заманауи шындыққа бейімдеуге ерекше назар аудару керектігін атап өтті [13].

Осылайша, бар әдебиеттер Қазақстанның мемлекеттік қызметіндегі кадрлық ресурстарын басқаруға жүйелі көзқарас қажеттігін көрсетеді. Негізгі міндеттерге HR тиімді стратегияларын әзірлеу және енгізу, аудиторларды сертификаттау жүйесін жетілдіру және кадр саясатын цифрландыру шарттарына бейімдеу қажеттілігі жатады. Бұл қиындықтарды еңсеру заманауи технологияларды енгізу, қызметкерлердің біліктілігін арттыру және аудит нәтижелері бойынша тиімді ұсыныстар әзірлеу арқылы мүмкін болады.

Нәтижелер мен талқылау. Қазақстандағы кадрлық ресурстарын басқару аудиті жүйесін талдау мемлекеттік басқарудың тиімділігін арттыруға бағытталған терең құрылымдық өзгерістердің қажеттілігін көрсетеді. Мемлекеттік қызметті жаңғырту және меритократия қағидаттарын енгізу жағдайында персоналды тексерудегі дәстүрлі тәсілдер енді кадрлық ресурстарын басқару сапасының толық көрінісін бермейді. Қолданыстағы аудит тетіктері нормативтік талаптардың сақталуына көбірек бағытталған, ал аудиттің стратегиялық мақсаты кадрлық саясаттың тиімділігін кешенді бағалау, жүйелі проблемаларды анықтау және оларды жою шараларын ұсыну болып табылады.

Ағымдағы аудиттің негізгі шектеулерінің бірі мемлекеттік қызметшілердің қызметін бағалауда объективтіліктің болмауы болып табылады. Нақты өнімділік көрсеткіштерінің болмауы, сондай-ақ жұмыс нәтижелері мен мотивация жүйесі арасындағы әлсіз байланыс кадрлық процестердің бюрократизациялану қаупін тудырады. Осының салдарынан нәтижелерді бағалау көбінесе формальды сипатқа ие, ал кадрлық ше-

шімдер стратегиялық мақсаттарға жетудегі қызметкерлердің нақты үлесін есепке алмай қабылданады. Сонымен қатар, мемлекеттік басқарудың әртүрлі деңгейлерінде кадр саясатын үйлестірудің жоқтығы маңызды мәселе болып қалуда, бұл кадрлық ресурстарын бөлудегі теңгерімсіздікке және жалпы мемлекеттік қызмет жүйесінің тиімділігінің төмендеуіне алып келеді.

Заманауи технологиялар HR аудитін жақсарту үшін жаңа мүмкіндіктер ашады, бірақ олардың әлеуеті әлі де толық пайдаланылмайды. Негізгі басқару процестерін цифрландыру контекстінде HR аудиті персонал қажеттіліктерін болжауға, персоналды басқарудағы жасырын тенденцияларды анықтауға және шешім қабылдау процесін оңтайландыруға мүмкіндік беретін аналитикалық құралдар мен үлкен деректер технологияларын біріктіруі керек. Жасанды интеллект пен машиналық оқыту жүйелерін енгізу құзыреттерді дәлірек бағалауды қамтамасыз ете алады, персонал рәсімдерінің ашықтығын арттырады және қызметкерлердің жұмысын бағалаудағы субъективтілікті азайтады.

Сонымен қатар, жоғарылатудың ашықтығын қамтамасыз ететін, тәлімгерлік рөлін күшейтетін және мемлекеттік қызметке сенім деңгейін арттыратын мемлекеттік қызметшілердің мансаптық өсуі мен біліктілігін арттыру мониторингінің бірыңғай жүйесін құру қажет. Маңызды аспект персоналды басқару тиімділігі туралы объективті деректер негізінде жеке жауапкершілікті енгізуді талап ететін кадрлық шешімдер үшін басшылардың жауапкершілігін күшейту болып табылады. Бұл тұрғыда мемлекеттік аудит тек бақылау функциясын орындап қана қоймай, сонымен қатар кадр саясатын жетілдіруге, тиімді тәжірибені анықтауға және мемлекеттік аппарат жұмысының өнімділігін төмендететін факторларды жоюға бағытталған стратегиялық құралға айналуы тиіс.

Кадрлық ресурстарын басқару саласындағы мемлекеттік аудитті күшейту формальды бақылаудан кадр саясатының тиімділігін кешенді талдауға көшуді талап етеді.

Цифрлық технологияларды интеграциялау, қызметтің тиімділігін бағалаудың ашық тетіктерін дамыту және персоналды басқарудың стратегиялық бағдарланған жүйесін қалыптастыру Қазақстанның әлеуметтік-экономикалық дамуының басым міндеттерін тиімді іске асыруға қабілетті кәсіби, құзыретті және уәжделген мемлекеттік аппаратты құруға мүмкіндік береді.

1 - кесте.2020-2024 жж. Қазақстандағы орташа айлық атаулы жалақы

Көрсеткіштер	2020 ж.	2021 ж.	2022 ж.	2023 ж.	2024 ж.
Орташа айлық номиналды жалақы					
- теңге	213 003	250 311	309 697	364 295	403 251
- АҚШ доллары	516	588	673	798	854
Ең төменгі жалақы	42 500	42 500	60 000	70 000	85000
Ескерту: дереккөздер негізінде авторлармен құрастырылған [13]					

Бүгінгі таңда Қазақстан Республикасының мемлекеттік органдарында 83 мыңнан астам мемлекеттік қызметші жұмыс істейді. Мемлекеттік қызмет істері және сыбайлас жемқорлыққа қарсы іс-қимыл агенттігінің мәліметтері бойынша, тек 2023 жылдың өзінде біліктілікті арттырудың мемлекеттік бағдарламалары бойынша оқуды аяқтаған қызметкерлер саны мемлекеттік қызметшілердің жалпы санының шамамен 22%-ын құрады, бұл кадрларды оқытуға жүйелі түрде қарау қажеттілігін көрсетеді. Дегенмен, тексерулер мемлекеттік бағдарламаларды жүзеге асыру барысында анықталған проблемалардың 30%-дан астамы кадрлардың біліктілігінің жеткіліксіздігі мен ресурстарды тиімсіз басқаруға байланысты екенін көрсетті [14]. Осы орайда ма-

териалдық мотивациясының маңызы зор.2020-2024 жж. Қазақстандағы орташа айлық атаулы жалақы бойынша ақпарат 1 кестеде көрсетілген.

Ұсынылған деректер бес жыл ішінде Қазақстандағы үй шаруашылықтары табысының тұрақты оң үрдісін көрсетеді. Номиналды орташа айлық жалақы 2020 жылғы 213 000 теңгеден 2024 жылы 403 000 теңгеге дейін, ал доллармен есептегенде 516-дан 854 АҚШ долларына дейін өсіп, ұлттық валютада да айтарлықтай өсуді көрсетті. Сонымен қатар, ең төменгі жалақының тұрақты өсіп, осы кезеңде екі есеге 42 500 теңгеден 85 000 теңгеге дейін ұлғаюы мемлекеттің азаматтардың әл-ауқатын арттыруға бағытталған мақсатты әлеуметтік саясатын көрсетеді.

2 - кесте.2021-2024жж. жұмыспен қамтылған халық саны, мың адам

Аумақтар	2021 ж.	2022 ж.	2023 ж.	2024 ж.
Қазақстан Республикасы	8 732,0	8 807,1	8 971,5	9 081,9
Абай	-	-	287,1	292,5
Ақмола	398,0	397,0	421,4	407,1
Ақтөбе	416,4	419,8	424,7	434,9
Алматы	974,0	973,0	697,7	704,8
Атырау	314,5	317,7	326,7	335,1
З-Казахстанская	321,0	322,3	330,9	333,3
Жамбыл	503,8	502,7	539,5	543,7
Жетісу	-	-	319,7	309,3
Қарағанды	641,8	643,4	534,8	535,8
Қостанай	466,3	475,2	453,8	449,5
Қызылорда	329,4	330,1	330,1	331,5
Маңғыстау	308,4	331,7	332,7	336,7
Оңтүстік Қазақстан	-	-	-	-
Павлодар	387,1	383,7	384,2	385,2
С-Казахстанская	289,3	287,3	279,1	274,5
Түркістан	779,4	777,6	792,2	800,6
Ұлытау	-	-	100,9	100,9
Шығыс Қазақстан	669,5	668,3	366,5	368,8
Астана қаласы	563,4	580,3	625,5	658,7
Алматы қаласы	959,3	982,8	998,0	1 045,5
Шымкент қаласы	410,3	414,3	426,1	433,5
Ескерту: дереккөздер негізінде авторлармен құрастырылған [15]				

Қазақстандағы ең маңызды көрсеткіш жұмыспен қамтылу – елдегі еңбекке қабілетті тұрғындардың жұмыспен қамтамасыз етілу көрсеткіші. 2021-2024жж. жұмыспен қамтылған халық саны 2 кестеде көрсетілген.

Мемлекеттік кадрлық аудит жүйесінің негіз-

гі проблемаларының бірі кадр қызметінің қызметін бағалаудың жеткіліксіз жүйелілігі мен кешенділігі болып табылады. Қазіргі уақытта жүйе персоналды басқарудағы проблемаларды анықтау және жою процестерін толық қамти алмайды. Атап айтқанда, 2023 жылғы есеп бойынша, HR аудитінің 40%-дан астамы ережелер мен процедуралардың сақталмауын анықтаған.

Мәселе сонымен қатар кадрлық саясатты тексеретін аудиторлардың біліктілігінің жеткіліксіздігінде. Соңғы жылдары бірнеше аудиторларды оқыту және дамыту бағдарламалары іске қосылғанымен, 2023 жылы кадрлық ресурстары бойынша аудиторлық қызметкерлердің тек 16%-ы ғана жаңа аудит стандарттары бойынша арнайы оқытудан өтті.

Қазақстандағы кадрлық ресурстарын басқару тиімділігінің мемлекеттік аудитінің мәселелерін талдау осы процестің тиімділігіне айтарлықтай әсер ететін бірқатар жүйелік қиындықтарды анықтайды. Аудиторлардың біліктілігінің жоқтығы өзекті мәселелердің бірі болып табылады, бұл мемлекеттік органдардағы кадрлық үдерістерге терең және объективті баға беруді қиындатады. Мемлекеттік қызмет жүйесін жедел жаңғырту, цифрлық басқару қағидаттарын енгізу және кадр саясатына стратегиялық бағдарланған тәсілге көшу жағдайында аудиттің дәстүрлі әдістері қазіргі талаптарға сай емес. Дегенмен, басқару процестерінің күрделене түсуіне қарамастан, HR аудиті кадрлық ресурстарын басқару жүйесіндегі негізгі дисфункцияларды анықтай алмай, негізінен формальды болып қала береді.

Кадрларды басқару, кадрлық ресурстарын стратегиялық жоспарлау және мінез-құлық экономикасы саласында аудиторлардың жеткіліксіз дайындығы аудиттің тек нормативтік талаптарды сақтаумен шектелуіне, кадрлық саясаттың нақты тиімділігін және оның мемлекеттің стратегиялық мақсаттарына қол жеткізуге әсерін бағалауға мүмкіндік бермеуіне әкеледі. Мемлекеттік басқарудағы заманауи тенденциялар құзыреттіліктерді, еңбек өнімділігін және қызметкерлерді тартуды тереңірек талдауды талап етеді, бірақ аудиторлар арасында қажетті білім мен құралдардың болмауы аудиторлық есептердің аналитикалық құндылығының төмен болуына әкеледі. Сонымен қатар, персоналдың тиімділігін бағалаудың бірыңғай әдістемелік стандарттарының болмауы тексерулердің субъективтілігіне, олардың мемлекеттік қызмет жүйесін жетілдірудегі практикалық маңыздылығын төмендетуге әкеледі.

Көп жағдайда кадрлық процестерді тексеруге қатысатын мамандардың классикалық қаржылық, экономикалық немесе заңгерлік білімі бар, бұл оларға мемлекеттік органдардың кадрлық құрылымы шеңберіндегі күрделі жүйелік өзара іс-қимылдарды талдау үшін жеткілікті құралдармен қамтамасыз етілмейді. Мемлекеттік қызметті цифрландыру және үлкен деректер технологияларын енгізу жағдайында HR аудиті болжамды талдауды, кадрлық сценарийлерді модельдеуді және кадрлық капиталының макроэкономикалық көрсеткіштерге әсерін бағалауды қамтитын кешенді аналитикалық тәсілдерге негізделуі керек. Алайда іс жүзінде мұндай тәсілдер әлі де кең тараған жоқ, бұл мемлекеттік кадр саясатын жетілдіру құралы ретіндегі аудиттің әлеуетін айтарлықтай шектейді.

Сонымен қатар, аудитордың біліктілігінің жоқтығы кадрлық ресурстарының тиімділігін бағалау процесін автоматтандыру және стандарттау мүмкін болатын кешенді цифрлық шешімдердің жоқтығынан шиеленісіп отыр. Үздік әлемдік тәжірибеде мемлекеттік қызметшілер қызметінің негізгі көрсеткіштеріне нақты уақыт режимінде мониторинг жүргізуге, құзыреттердегі олқылықтарды анықтауға және ұзақ мерзімді стратегиялық мақсаттар негізінде персонал қажеттілігін болжауға мүмкіндік беретін персонал деректерін талдаудың біріктірілген жүйелері қолданылады. Дегенмен, Қазақстанда кадрлық аудит негізінен құжаттарды тексерудің дәстүрлі әдістеріне және сараптамалық қорытындыларға негізделуін жалғастыруда, бұл процесті көп еңбекті қажет ететін, субъективті және тиімсіз етеді.

Бұл мәселені шешу үш негізгі бағытты қамтитын кешенді тәсілді қажет етеді. Біріншіден, кадрлық ресурстарын басқару, мінез-құлық эко-

номикасы, цифрлық аналитика және HR стратегиялық менеджменті бойынша мамандандырылған курстармен толықтыра отырып, аудиторларды даярлау және олардың біліктілігін арттыру жүйесін реформалау қажет. Бұл аудиторларға HR процестерін тереңірек түсінуге ғана емес, сонымен қатар персонал қызметін бағалаудың заманауи әдістерін, соның ішінде KPI талдауын, құзыреттілік үлгілерін және еңбек өнімділігін индекстеуді қолдануға мүмкіндік береді. Екіншіден, халықаралық стандарттарға негізделген және кадрлық ресурстарын басқару тиімділігін бағалаудың кешенді сандық және сапалық көрсеткіштерін қамтитын персонал аудитінің бірыңғай әдістемесін әзірлеу қажет. Үшіншіден, бағалаудың субъективтілігін барынша азайтуға, деректерді жинау мен өңдеуді автоматтандыруға, персонал қажеттілігін болжау дәлдігін арттыруға мүмкіндік беретін аудит процестеріне цифрлық технологияларды біріктіру қажет.

Мемлекеттік кадрлық басқару аудиторларының біліктілігінің жеткіліксіздігі мәселесі мемлекеттік саясат деңгейінде жүйелі шешімдерді талап ететін күрделі мәселе болып табылады. Заманауи аналитикалық әдістерге, цифрлық технологияларға және мамандарды тереңдетіп оқытуға негізделген персонал аудитінің жаңа моделін қалыптастыру аудиторлық тексерулердің сапасын айтарлықтай арттыруға, мемлекеттік қызметтің кадрлық әлеуетін нығайтуға және Қазақстанда кадрлық ресурстарын басқарудың неғұрлым тиімді жүйесін құруға мүмкіндік береді №

Сондай-ақ, Қазақстандағы кадрлық ресурстарының аудиті жүйесі жеткілікті жүйелі және кешенді емес екені байқалады. Персоналды басқарудың жеке аспектілеріне бағытталған аудиттің фрагменттік сипаты кадрлықи капиталды пайдалану тиімділігінің толық көрінісін бермейді. Бұл мемлекеттік бағдарламалардың стратегиялық мақсаттарын іске асыруға кедергі келтіретін проблемалық аймақтарды жедел анықтау мүмкіндігін шектейді.

Сонымен қатар, аудит процестерін цифрландыру төмен деңгейде қалып отыр. Автоматтандырылған жүйелерді жеткіліксіз пайдалану мәліметтерді жинау мен талдауды қиындатады, бұл аудиттің жылдамдығы мен сапасын төмендетеді. Цифрлық трансформацияны жеделдету және жаңа технологияларды дамыту жағдайында HR-менеджмент неғұрлым заманауи мониторинг және бақылау құралдарын енгізуді талап етеді, бұл аудитке де қатысты.

Сондай-ақ кадрлық ресурстарын басқару аудиті саласындағы халықаралық стандарттарды қолданудың шектеулілігін атап өтпеу мүмкін емес. Халықаралық ұйымдардың ұсыныстары болғанымен, олардың Қазақстанда қолданылуы жеткіліксіз. Бұл отандық аудит тәжірибесінің жаһандық трендтерден артта қалуына әкеліп соқтырады, бұл жалпы тиімділікті төмендетеді және процестің ашықтығы мен есептілігін азайтады.

Қазақстанда кадрлық ресурстарын басқарудың мемлекеттік аудитін жетілдіру кешенді тәсілді, оның ішінде алдыңғы қатарлы әдістемелік, технологиялық және басқарушылық шешімдерді енгізуді талап етеді. Мемлекеттік қызметті трансформациялау және цифрлық менеджмент қағидаттарына көшу жағдайында дәстүрлі аудит құралдары ендігі уақыт талабына толық жауап бермейді, бұл оларды түбегейлі жаңарту қажеттілігін туғызады.

Модернизацияның негізгі бағыттарының бірі кадрлық үдерістерді бақылайтын аудиторлардың құзыреттілік деңгейін арттыру болып табылады. Заманауи шындық қаржылық бақылау және нормативтік-құқықтық база саласындағы білімді ғана емес, сонымен қатар кадрлық ресурстарын стратегиялық басқару, цифрлық технологиялар, ұйымдық даму және мінез-құлық экономикасы бойынша терең тәжірибені қажет етеді. Осыған байланысты жаңа міндеттерге бейімделген біліктілікті арттырудың мамандандырылған бағдарламаларын енгізу қажет. HR талдауында, корпоративтік басқаруда және өзгерістерді басқаруда практикалық тәжірибесі бар сарапшыларды тарту аудиторларға өз құзыреттерін кеңейтуге мүмкіндік береді, бұл HR саясатының тиімділігін неғұрлым егжей-тегжейлі және объективті бағалауды қамтамасыз етеді. Кадрларды басқару саласындағы аудиторларды

сертификаттау бағдарламаларын әзірлеу және енгізу халықаралық стандарттарға сәйкес келетін HR аудитінің кәсіби институтын қалыптастыруға негіз болады.

HR аудитін жетілдірудің тағы бір маңызды аспектісі цифрлық технологиялардың интеграциясын кеңейту болып табылады. Мемлекеттік басқаруды белсенді цифрландыру жағдайында аудиторлық рәсімдерді автоматтандыру олардың тиімділігін арттырудың қажетті шартына айналуда. Жасанды интеллект жүйелерін, үлкен деректерді талдау технологияларын және машиналық оқытуды енгізу нақты уақытта HR процестерін кешенді бақылауға мүмкіндік береді. Бұл, өз кезегінде, жасырын тенденцияларды анықтауға, кадрлардың тұрақсыздығы деңгейін бағалауға, персонал қажеттіліктерін болжауға және кадрлық ресурстарын басқарудағы проблемалық аймақтарды автоматты түрде диагностикалауға мүмкіндік береді. Болжалды аналитика мен сандық бақылау тақталарын пайдалану субъективті факторлардың әсерін барынша азайта отырып, аудит есептерінің дәлдігін арттырады.

Мемлекеттік қызмет қызметінің негізгі көрсеткіштерінің (KPI) жетілдірілген жүйесін әзірлеуге және енгізуге ерекше назар аудару қажет. Қазіргі уақытта мемлекеттік қызметшілердің қызметін бағалау жүйесі көбінесе формальды сипатқа ие және әрбір маманның мемлекеттің стратегиялық мақсаттарына қол жеткізудегі нақты үлесін көрсетпейді. Объективтілік, өлшемділік және Қазақстанның стратегиялық басымдықтарымен байланыстыру қағидаттарына негізделген кешенді KPI енгізу мемлекеттік қызметшілердің жұмысын бағалаудың ашық және тиімді жүйесін құруға мүмкіндік береді. Салалық ерекшеліктерді, жауапкершілік деңгейін, тапсырманы орындаудың тартылуын және тиімділігін ескеретін динамикалық KPI үлгілерін әзірлеу мемлекеттік басқару сапасын арттырып қана қоймайды, сонымен қатар персоналдың кәсіби дамуы үшін уәждемелік ынталандырулар жасайды.

Кадрлық ресурстарын басқарудың мемлекеттік аудит жүйесін жаңғырту үш негізгі элементке негізделуі тиіс: аудиторлардың кәсіби құзыреттілігін күшейту, аудиторлық рәсімдерді цифрландыру және мемлекеттік қызметшілердің қызметін бағалау жүйесін жетілдіру. Бұл тәсілдерді кешенді түрде енгізу Қазақстанның стратегиялық даму талаптарына және мемлекеттік басқарудың халықаралық стандарттарына сәйкес келетін персонал аудитінің заманауи, ашық және жоғары тиімді жүйесін құруға мүмкіндік береді.

Кадрлық ресурстарын басқару тиімділігін тексерудің маңыздылығын мойындағанына қарамастан, Қазақстан Республикасында бұл проблемаға жүйелі көзқарас әлі де жоқ. Қолданыстағы мемлекеттік аудит жүйесі ең алдымен қаржылық аспектілерге бағытталған, бұл ретте кадрлық процестер мен олардың тиімділігінің аудиті жеткіліксіз әзірленген және енгізілмеген. Бұл кадрлық ресурстарын тиімсіз пайдаланудың елеулі тәуекелдерін тудырады, жаңғырту процестерін бәсеңдетеді және мемлекеттік қызметтің даму мүмкіндіктерін шектейді.

Қазақстан Республикасында мемлекеттік аудитті жүзеге асыру тұжырымдамасы Қазақстан Республикасы Президентінің 2012 жылғы 14 желтоқсандағы «Қазақстан-2050» Стратегиясы қалыптасқан мемлекеттің жаңа саяси бағыты» атты Қазақстан халқына Жолдауына сәйкес әзірленді, онда: «Бізге Мемлекет басшысы 2012 жылғы 3 қыркүйектегі ең озық әлемдік тәжірибе негізінде мемлекеттік аудиттің кешенді жүйесін құру қажет» делінген Қазақстан Республикасы.

Осы Тұжырымдама мемлекеттік қаржылық бақылауды кезең-кезеңімен реформалаудың және оның функционалдық бағыттарын одан әрі кеңейте отырып, мемлекеттік аудитті енгізудің пайымдауын және негізгі тәсілдерін айқындайды. Бұл ретте мемлекеттік қаржылық бақылаудың функциялары тексерілетін субъектінің қызметінде зардаптарды жоюды және жауапкершілікке тартуды талап ететін заң бұзушылықтар анықталған кезде іске асырылатын болады [16].

Тұжырымдамада ең алдымен қаржылық және мемлекеттік аудиттің тиянақты жүргізілу қажеттілігі атап көрсетілген. Бұл заң талаптарының

сақталуын тексеруді ғана емес, сонымен қатар басқару процестерінің тиімділігін бағалауды да қамтиды. Маңызды міндет - жүйедегі мүмкін болатын кемшіліктерді анықтау және жою, бұл бюджеттік қаражатты неғұрлым ұтымды пайдалануға және тәуекелдерді азайтуға ықпал етеді.

Қазақстандағы мемлекеттік аудит тұжырымдамасы мемлекеттік басқарудың ашықтығы мен тиімділігін арттырудың маңызды құралы болып табылады және оны табысты жүзеге асыру кешенді тәсілді және барлық мүдделі тараптарды тартуды талап етеді.

Тұжырымдамада көрсетілген мемлекеттік аудитті дамытудың маңызды бағыттарының бірі кадрлық ресурстарын басқару тиімділігін бақылау болып табылады, өйткені мемлекеттік бағдарламалар мен стратегиялық бастамаларды іске асырудың табыстылығын айқындайтын кадрлық капиталы болып табылады. Мемлекеттік аппаратты жаңғырту жағдайында кадрларды іріктеу, орналастыру және дамытудағы жүйелі проблемаларды анықтауға, сондай-ақ кадрлық саясаттың тиімділігін бағалауға мүмкіндік беретін кадрлық үдерістердің аудиті ерекше маңызға ие.

Мемлекеттік органдарда кадрлық ресурстарын тиімді басқару ашықтық, есеп беру шілік және қызметті объективті бағалау принциптеріне негізделуі керек. Дегенмен, тиісті аудит тетіктерінсіз кадрлық шешімдердің негізділігінің жоғары дәрежесіне және олардың елдің стратегиялық мақсаттарына сәйкестігіне қол жеткізу мүмкін емес. Осы тұрғыда кадрлық ресурстарды басқарудың мемлекеттік аудиті кадрлық ресурстары жүйесіндегі кемшіліктерді анықтаудың, мемлекеттік қызметшілердің құзыреттілік деңгейін бағалаудың және олардың қызметінің тиімділігін бақылаудың негізгі құралына айналады.

Зерттеуді эмпирикалық негізде нығайту мақсатында Қазақстан Республикасының ресми статистикалық деректері талданды. Талдау көрсеткендей, 2023 жылы мемлекеттік органдардағы кадрлардың көші-қоны деңгейі 17%-ды құрап, жеке сектордың көрсеткішінен (10%) айтарлықтай жоғары болды. Бұл жағдай мемлекеттік қызметтегі мотивация жүйесі мен бейімделу мәселелерін айқын көрсетеді.

Сонымен қатар, Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің мәліметтері бойынша, мемлекеттік органдардың тек 35%-ы ғана персоналдың тиімділігін бағалау үшін KPI жүйесін іс жүзінде қолданады, бұл басқарудың субъективтілігі мен нәтижелердің төмендігінің бір себебі болып табылады [17].

Халықаралық салыстырмалы талдау OECD және БҰҰ-нің ұсыныстары негізінде жүргізілді. Атап айтқанда, OECD-дің «Адам ресурстарын басқарудағы жақсы тәжірибелер бойынша нұсқаулығы» мемлекеттік сектордағы кадрлық аудиттің негізгі бағыты стратегиялық басқару мен нәтижелерге бағытталуы керектігін атап өтеді. Мысалы, БҰҰ-нің Әдістемелік ұсыныстарына сәйкес, тиімді кадрлық аудит жүйесі қызметкерлердің біліктілігі мен мемлекеттік бағдарламаларды іске асыру нәтижелері арасындағы байланысты өлшеуі тиіс.

Халықаралық ұйымдардың кадрлық аудит стандарттары 3 кестеде көрсетілген.

Осы тәжірибеге сүйене отырып, біз Қазақстан контекстінде кадрлық әлеуетті бағалаудың екі негізгі индикаторын енгізуді ұсынамыз: «кадрлық рентабельділік индексі» (бөлімшенің нәтижелілігінің оның кадрлық шығындарына қатынасы) және «стратегиялық сәйкестік коэффициенті» (лауазымдық тапсырмалар мен ұлттық стратегиялық мақсаттар арасындағы байланыс деңгейі).

Практикалық негіздемені нығайту үшін Қазақстан Республикасының бірнеше министрліктерінде енгізілген «Кадрлық резерв» жобасының нәтижелері зерттелді. Тәжірибелік сынақ көрсеткендей, бұл платформаны пайдалану лауазымдарды ашуға дейінгі орташа уақытты 30 күннен 10 күнге дейін қысқартты, бірақ жүйе әлі де қызметкерлердің кәсіби даму траекториясын талдауға мүмкіндік бермейді. Осы проблемаларды шешу үшін біз жасанды интеллект негізіндегі «Кадрлық сценарийлерді болжау модулін» енгізуді ұсынамыз, ол үлкен деректерді талдай отырып, салалық министрліктерде біліктілік тапшылығының ықтималдығын 85% дәл-

дікпен болжауға мүмкіндік береді.

Мемлекеттік сектордағы кадрлық аудиттің тиімділік көрсеткіштері 4 кестеде көрсетілген.

3 - кесте. Халықаралық ұйымдардың кадрлық аудит стандарттары

Критерийлер	OECD тәжірибесі	БҰҰ стандарттары	Қазақстанның ағымдағы жүйесі
Кадрлық саясатты бағалау	Интеграцияланған бағалау	Аумақтық тәсіл	Фрагментарлық бағалау
Тиімділік көрсеткіштері	NPM көрсеткіштері	BSC жүйесі	Негізгі KPI
Аудиттік есептілік	Ашық есеп беру	Интеграцияланған мониторинг	Дәстүрлі есеп беру
Нәтижелерді талдау	Салыстырмалы талдау	Бенчмаркинг	Сараптамалық бағалау
Ескерту: дереккөздер негізінде авторлармен құрастырылған [18]			

4 кесте - Кадрлық аудиттің жаңа әдістемесінің индикаторлары

Индикаторлар	Өлшем бірлігі	Базистік мән (2023)	Мақсатты мән (2025)
Кадрлық саясаттың тиімділік индексі	балл	5,8	7,5
Стратегиялық сәйкестік коэффициенті	%	65	85
Аудиттік ұсыныстарды орындау индексі	балл	6,2	8,0
Цифрлық аудиттің қамту деңгейі	%	40	75
Кадрлық тәуекелдерді болжау дәлдігі	%	60	85
Ескерту: дереккөздер негізінде авторлармен құрастырылған [18]			

Зерттеудің ғылыми жаңалығы мемлекеттік кадрлық аудиттің заманауи үлгісін әзірлеу болып табылады, ол үш негізгі инновацияны біріктіреді: 1) кадрлық шешімдердің ұлттық стратегиялық басымдықтарға әсерін өлшейтін индикаторлар жиынтығы; 2) халықаралық стандарттарға негізделген кадрлық тәуекелдерді басқарудың бірыңғай әдістемесі; 3) мемлекеттік органдардың кадрлық саясатының сапасын салыстырмалы талдауға мүмкіндік беретін бірегей цифрлық белгілер жүйесі. Бұл тәсілдерді іс жүзінде енгізу мемлекеттік органдардың әкімшілік қызметінің тиімділігін бағалау көрсеткішін болашақта 25%-ға дейін арттыруға мүмкіндік береді.

Кадрлық процестерді бағалау бағытында мемлекеттік аудиттің функционалдық мүмкіндіктерін кеңейту мемлекеттік басқару жүйесін жетілдірудің және уақыт сындарына тиімді жауап беруге қабілетті кәсіби мемлекеттік аппаратты қалыптастырудың ажырамас шарты болып табылады.

Қазақстанда кадрлық ресурстарын басқарудың мемлекеттік аудитін жетілдіру тиімді мемлекеттік басқарудың маңызды құрамдас бөлігі

болып табылады. Дегенмен, осы кезеңде кадрлық аудит жүйесінде оның тиімділігін шектейтін және қабылданған шешімдердің негізділік деңгейін төмендететін бірқатар маңызды проблемалар бар. Цифрлық трансформация, мемлекеттік қызметшілердің кәсібилігіне қойылатын талаптардың артуы және заманауи сынқатерлерге бейімделу қажеттілігі жағдайында персонал аудитінің тиімділігін арттыруға кедергі келтіретін негізгі кедергілерді жүйелі талдау ерекше маңызға ие.

1. Аудиторлардың біліктілігінің жеткіліксіздігі. Ең маңызды шектеулердің бірі – кадрлық ресурстарын басқару және аудит әдістемесі бойынша терең білімі бар мамандардың болмауы. Қазақстан Республикасы Қаржы министрлігінің мәліметі бойынша, 2022 жылы аудиторлардың 60%-ы ғана сапалы аудит жүргізу үшін қажетті құзыреттерге ие болды. Кәсіби дайындықтың жоқтығы кадр саясаты саласындағы көптеген жүйелі проблемалардың назардан тыс қалып отырғанын және оларды жою бойынша ұсыныстардың үстірт екендігін білдіреді [19]. Осының салдарынан персоналды басқарудағы көптеген мәселелер назардан тыс қалады немесе шешімдер үстірт болып қалады, бұл реформалардың тиімділігін төмендетеді.

2. Цифрландырудың төмен деңгейі. Мемлекеттік басқаруды дамытудың қазіргі кезеңі цифрлық технологияларды белсенді енгізуді талап етеді, бірақ кадрлық аудитті автоматтандыру деңгейі жеткіліксіз болып қалуда. Қазақстан Республикасы Цифрлық даму, инновациялар және аэроғарыш өнеркәсібі министрлігінің мәліметі бойынша 2023 жылға қарай мемлекеттік органдардың 40%-ы ғана кадрлық ресурстарын басқару мен аудиттің автоматтандырылған жүйелерін енгізген [20]. Бұл деректерді жинау және талдау процесін баяулатады, бұл аудит уақытының ұлғаюына және олардың сапасының төмендеуіне әкеледі.

3. Кадрлық ресурстарының тиімділігін адекватты түрде бағаламау. Кадрлықи капиталды тиімді басқару қызметкерлердің қызметін бағалаудың объективті әдістерінсіз мүмкін емес. Алайда, Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің статистикалық мәліметтеріне сәйкес, 2023 жылы мемлекеттік органдардың 35%-ы ғана персонал қызметін бағалау үшін қызметтің негізгі көрсеткіштерінің (KPI) жүйесін пайдаланған [21]. Қазіргі заманғы бағалау құралдарының орнына көптеген бөлімдер жұмыс уақытын есепке алу сияқты ресми критерийлерге негізделген ескірген тәсілдерді сақтайды, бұл қызметкерлердің мемлекеттің стратегиялық мақсаттарына қол жеткізудегі үлесін толық бағалауға мүмкіндік бермейді.

4. Ашықтық пен есеп беруді бұзу. HR процестерінің аудиті көбінесе есеп берудегі және мемлекеттік органдар арасындағы үйлестірудің әлсіз жақтарын анықтайды. Жоғарғы есеп палатасының мәліметі бойынша, 2022 жылы кадрлық аудитте 123 заң бұзушылық фактісі тіркелді, оның 65 пайызы есеп беру және департаменттер арасындағы ақпарат алмасу мәселелеріне қатысты [22]. Бұзушылықтар арасында кадрлық өзгерістер туралы уақтылы хабарланбау және ведомстволар арасындағы үйлестірудің жеткіліксіздігі жатады. Бұл аудиторлардың жұмысын қиындататын және процестердің ашықтығын төмендететін кадрлық ресурстарын басқаруға жүйелі көзқарастың жоқтығы проблемасын көрсетеді.

5. HR қызметінің төмен тиімділігі. Тағы бір күрделі мәселе – мемлекеттік органдардағы кадрлардың көп ауысуы. Еңбек министрлігінің мәліметі бойынша, 2023 жылы мемлекеттік органдардағы ауыс-түйіс деңгейі 17%-ды құрады, бұл жеке сектордағы осындай көрсеткіштен (10%) жоғары [23]. Бұл мемлекеттік қызмет қызметкерлерінің қанағаттану деңгейінің төмендігін және дарындылықты сақтау тетіктерінің әлсіз дамуын көрсетеді. Кадрлық саясат аудиті көбінесе мұндай проблемаларды дер кезінде анықтай алмайды, өйткені олар персонал жұмысының сапасын жақсартуға емес, процедуралардың сақталуын бақылауға бағытталған.

Ағымдағы жағдай кадрлық ресурстарын басқарудың мемлекеттік аудитінің тәсілдерін жаңғыртуды талап етеді. Бұл саладағы реформаның маңызды бағыты аудиторлардың біліктілігін арттыру, цифрлық технологиялар мен

автоматтандырылған жүйелерді белсенді енгізу, кадрлық ресурстарын бағалаудың тиімді KPI әзірлеу, кадр саясатының ашықтығы мен есептілігін қамтамасыз ету шараларын күшейту болуы тиіс. Бар кедергілерді кешенді түрде жою мемлекеттік органдардың қызметін айтарлықтай жақсартады және Қазақстанның стратегиялық даму мақсаттарына жауап беретін кәсіби мемлекеттік аппараттың қалыптасуын қамтамасыз етеді.

Мемлекеттік басқару саласындағы заманауи сын-қатерлер кадрлық ресурстарының аудитіне қатысты тәсілдерді жан-жақты қарастыруды және жетілдіруді талап етеді. Кадрлық саясаттың ашықтығын, тиімділігін және тиімділігін қамтамасыз ету үшін анықталған проблемаларды жоюға бағытталған инновациялық құралдарды енгізу қажет. Осы тұрғыда келесі бағыттар мемлекеттік аудитті реформалаудың негізгі басымдықтарына айналады:

Жоғары білікті аудиторлық корпусты қалыптастыру кадрлық ресурстарын басқару саласындағы тиімді бақылаудың негізі болып табылады. Мамандандырылған білім беру бағдарламаларын, біліктілікті арттыру курстарын және сертификаттау талаптарын енгізу персоналды басқару, персонал қызметін бағалау және халықаралық аудит стандарттарын қолдану саласында терең білімі бар аудиторлардың кәсіби қоғамдастығын құруға мүмкіндік береді.

Цифрлық технологияларды персонал аудитіне кіріктіру мемлекеттік қызметшілердің қызметін бақылаудың жылдамдығы мен дәлдігін айтарлықтай арттырады. Үлкен деректерге, жасанды интеллектке және деректерді автоматтандырылған өңдеуге негізделген аналитикалық жүйелерді әзірлеу және енгізу жүйелік кемшіліктерді белсенді түрде анықтауды қамтамасыз етеді және уақтылы және негізделген басқару шешімдерін қабылдауға мүмкіндік береді.

Барлық мемлекеттік органдар үшін нақты және ашық KPI жүйесін құру кадрлық ресурстарын бағалаудың объективтілігін арттыру жолындағы маңызды ққадрлық болып табылады. Стандартты көрсеткіштер мен тиімділік параметрлерін анықтау мемлекеттік қызметшілердің қызметін бағалауда субъективтілікті болдырмауға көмектеседі және басшылардың өз персоналының жұмысы үшін жауапкершілігін арттырады.

Аталған шараларды іске асыру кадрлық ресурстарын басқарудың мемлекеттік аудитін жаңғыртуға, оның аналитикалық және болжамдық мәнін арттыруға, мемлекеттік қызметте кадрлық әлеуетті тиімді бөлу мен пайдалануды қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Бұл ққадрлықдар Қазақстан Республикасының стратегиялық мақсаттарына қол жеткізу және заманауи сын-қатерлер мен жаһандық даму талаптарына жауап беретін тиімділігі жоғары мемлекеттік аппаратты қалыптастыру үшін қажет.

Статистикалық талдау көрсеткендей, кадрлық ресурстарын басқару аудиті саласындағы бар проблемалар аудиторлардың құзыреттілігін арттыруға, технологияларды жаңартуға және тиімділікті бағалаудың неғұрлым сапалы және объективті әдістерін енгізуге бағытталған жүйелі шешімді талап етеді.

«Мемлекеттік аудит және қаржылық бақылау туралы» Заңның негізгі аспектілерін түсінуге ерекше назар аудару қажет. Бұл заң Қазақстан Республикасында мемлекеттік аудиттің тиімді жүйесін құру мен дамытудың іргелі құжаты болып табылады.

Заңда мемлекеттік ресурстарды пайдалануда адалдық пен жариялылықты қамтамасыз етудің негізі болып табылатын ашықтық пен есеп беру қағидаттарына ерекше мән берілген. Заң бұзушылықтардың алдын алу және анықтау тетіктерін қарастырады, бұл мемлекеттік институттарға сенім деңгейін арттыруға ықпал етеді [24].

Заңда аудиторлық тексерулерді жүргізуде кәсіби көзқарас қажеттігін де атап көрсетеді. Бұл аудиторлардың біліктілігіне қойылатын талаптарды, сонымен қатар аудиторлық тексерулердің дәлдігі мен тиімділігін арттыру үшін заманауи әдістер мен технологияларды қолдануды қамтиды.

Осыған байланысты, кадрлық ресурстарын басқару саласындағы мемлекеттік аудит мемлекеттік басқарудың тиімділігін қамтамасыз етудің ең маңызды құралы болып табылатынын

атап өткен жөн, өйткені мемлекеттік функцияларды табысты орындау және стратегиялық мақсаттарға қол жеткізу негізінде кадрлықи капитал жатыр. Жаһандық цифрландыру және мемлекеттік аппаратты трансформациялау жағдайында еңбек ресурстарын ұтымды пайдалану, кадрлық үдерістердің ашықтығы және олардың заманауи сын-қатерлерге сәйкестігі мәселелері өте маңызды болып отыр.

Осы саладағы мемлекеттік аудиттің негізгі мақсаты еңбек әлеуетін оңтайлы пайдалану қағидаттарынан ауытқуларды анықтау, сондай-ақ жұмысқа қабылдау жүйелерінің, мансаптық өсу мен қызметкерлерді ынталандырудың ұзақ мерзімді мемлекеттік басымдықтарға сәйкестігін бағалау болып табылады. Персонал саны немесе оларды ұстауға жұмсалатын шығындар деңгейі сияқты сандық көрсеткіштерді ғана емес, сонымен қатар кәсібилік деңгейін, қызметкерлердің қанағаттанушылығын және олардың ұйымның мақсаттарына жетуге қосқан үлесін қоса алғанда, сапалы аспектілерді де ескеретін кешенді тәсілді қолдану қажеттілігі ерекше қиын.

Цифрландыру, жұмыс сипатының өзгеруі және ашықтық талаптарының артуы сияқты заманауи міндеттер мемлекеттік аудиттің инновациялық әдістер мен құралдарды қолдануын талап етеді. Бұл кадрлық саясаттың әлсіз тұстарын анықтауға ғана емес, сыбайлас жемқорлық тәуекелдерін азайтуға, персоналды басқару тиімділігін арттыруға және ашықтық пен есеп берушілік қағидаттарына негізделген жүйені құруға бағытталған ұсыныстар әзірлеуге мүмкіндік береді.

Кадрлық ресурстарын басқарудың мемлекеттік аудиті уақыт сын-қатерлеріне жауап беруге және тұрақты дамуды қамтамасыз етуге қабілетті заманауи, тиімді және ашық мемлекеттік аппаратты құрудың негізгі элементіне айналуда.

Қорытынды. Қазақстанда кадрлық ресурстарын басқарудың мемлекеттік аудитінде анықталған проблемаларды еңсеру үшін аудиттің тиімділігі мен сапасын арттыруға, сондай-ақ мемлекеттік органдарда кадрлық ресурстарын басқару жүйесін жетілдіруге мүмкіндік беретін бірқатар практикалық шараларды жүзеге асыру қажет.

1. Аудиторлардың біліктілігін арттыру. Кадр тапшылығын жою және аудит сапасын арттыру үшін аудиторларды үздіксіз оқыту және біліктілігін арттыру бағдарламаларын жасау қажет. Бұл бағдарламалар мыналарды қамтуы керек:

- кадрлық ресурстарын басқарудың жаңа әдістеріне және HR процестерінің аудитіне оқыту;

- INTOSAI және ISSAI әдістемелері сияқты халықаралық стандарттармен және озық тәжірибелермен танысу;

- сандық технологияларды аудитте қолдану, соның ішінде үлкен деректерді талдау және жасанды интеллект құралдарын пайдалану бойынша мамандандырылған курстар.

Ұсыныс: кадрлық ресурстарын басқару және қазіргі заманғы аудит құралдарын мамандандырылған оқытуға бағытталған мемлекеттік аудиторларды даярлаудың ұлттық орталығын құру.

2. HR процестерін тексерудің әдістемелік негізін жасау. Аудиттің тәсілдерін біріздендіру және бағалаудың объективтілігін арттыру үшін қазақстандық мемлекеттік органдардың ерекшеліктерін ескеретін кадрлық ресурстарын басқару аудитін жүргізудің бірыңғай стандарттары мен әдістерін әзірлеу және енгізу қажет.

Ұсыныс: Қызметтің негізгі критерийлерін, өнімділік көрсеткіштерін, қызметкерлердің мотивациясын бағалау әдістерін және кері байланыс жүйелерін сипаттайтын HR процестерін тексеру бойынша нұсқаулықты әзірлеу.

3. Цифрлық технологияларды қолдануды күшейту. Цифрлық технологияларды енгізу және аудиторлық процестерді автоматтандыруды арттыру, бұл аудиторлардың тиімділігін арттыруға және деректерді талдау сапасын жақсартуға мүмкіндік береді. Үлкен деректер аналитикасын пайдалану HR процестеріндегі үлгілерді анықтауға көмектеседі, ал жасанды интеллект күнделікті тапсырмаларды автоматтандырады.

Ұсыныс: мемлекеттік органдардағы кадрлық ресурстары туралы деректерді жинау, сақтау және талдау үшін мамандандырылған цифрлық

платформаларды енгізу. Платформаларда қызметкерлердің ауысуын, біліктілік деңгейін бақылау және қызметкерлердің мотивациясын бағалау мүмкіндіктері болуы керек.

4. Аудиторлар мен мемлекеттік органдар арасындағы ынтымақтастықты жақсарту. Мемлекеттік органдардың қарсылығын азайту үшін аудиторлар мен менеджерлердің өзара тығыз қарым-қатынасына жағдай жасау қажет. Бұған аудит мақсаттары мен міндеттері талқыланатын, сондай-ақ аудиторлық ұсыныстарды сәтті орындау мысалдары талқыланатын тұрақты жиналыстар мен семинарлар арқылы қол жеткізуге болады.

Ұсыныс: мемлекеттік аудиторлар мен HR қызметтері арасындағы тұрақты диалог бағдарламасын құру, ол аудиттің нәтижелеріне негізделген HR басқару тиімділігін жақсарту бойынша оқыту мен кеңес беруді қамтиды.

5. Аудиттің ашықтығын арттыру және кері байланыс тетіктерін енгізу. Аудитке деген сенімді арттыру және нәтижелерді жақсарту үшін аудит процестерінің ашықтығын қамтамасыз ету қажет. Аудиторларға өз ұсыныстарының қалай орындалып жатқаны туралы ақпарат алуға мүмкіндік беретін кері байланыс механизмін енгізу де маңызды элемент болып табылады.

Ұсыныс: мемлекеттік мекеме басшыларына аудиторлық ұсыныстардың орындалуы туралы есеп беруге және аудиторларға осы ақпарат негізінде өз тәсілдерін бейімдеуге мүмкіндік беретін кері байланыс жүйесін енгізу.

6. Халықаралық ынтымақтастық пен тәжірибе алмасуды дамыту. Персоналды басқарудың мемлекеттік аудиті саласындағы озық халықаралық тәжірибені бейімдеу Қазақстанға озық тәжірибені енгізуге және аудит процестерінің сапасын арттыруға мүмкіндік береді.

Ұсыныс: жетекші халықаралық ұйымдарда қазақстандық аудиторлардың және басқа елдердің аудиторларының тәжірибе алмасу және HR үдерістері аудитінің озық әдістерін зерделеу үшін тұрақты тағылымдамадан өтуін ұйымдастыру.

7. Аудиторлық органдарды қаржыландыру мүмкіндігі. Ресурстардың жетіспеушілігі аудитті сапалы жүргізуді қиындатады, сондықтан мемлекеттік аудит органдарының бюджеттік қаржыландыруын қайта қарау қажет.

Ұсыныс: цифрлық құралдарды алуға, қызметкерлерді оқытуға және аудитті қамтуды кеңейту үшін қызметкерлер санын арттыруға баса назар аудара отырып, аудит органдарын қаржыландырудың мақсатты бағдарламасын әзірлеу.

8. Біліктілікті арттыру және мансаптық өсу бағдарламаларын әзірлеу. Мемлекеттік аудит мемлекеттік қызметшілерді оқыту бағдарламаларының тиімділігін және олардың мемлекеттік тапсырмаларды орындауға әсерін ескеруі тиіс.

Ұсыныс: нәтижелерді кейіннен кадрлық аудит процесіне біріктіре отырып, мемлекеттік қызметшілерді оқыту бағдарламаларының тұрақты мониторингі мен бағалау жүйесін әзірлеу.

Әдебиеттер

1. Катковская И. В. Аудит кадровых процессов как инструмент оценки системы управления персоналом организации // Управление персоналом и развитие организаций. - 2017. - № 1. - С.65-66.

2. Бахарев В. В., Демененко И. А. Технология кадрового аудита в стратегии управления человеческими ресурсами // Альманах «Крым». - 2022. -№ 31. - С.18–25.

3. Сергеев Л. И. Государственный аудит: учебник для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Юрайт, 2025. - 373 с. ISBN 978-5-534-16434-3

4. Қазақстан Республикасы Президентінің Қ.-Ж. Қ.Тоқаевтын Қазақстан халқына 2024 жылғы 2 қыркүйектегі жолдауы. 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: 07.02.2025.

5. Bratton, J., Gold, J. Human resource management: Theory and practice. 5th ed. - London: Palgrave Macmillan, 2012. - 592 p.

6. Lawler, E. E., Boudreau, J. W. Global trends in human resource management: A twenty-year analysis. - Stanford: Stanford University Press, 2015.- 216 p. ISBN 9780804791298.

7. Саунин А. Н. Государственный аудит: учебное пособие. - 2-е изд., стер. - М.: Изд-во МГУ, 2019. - 480 с. ISBN 978-5-19-011412-6.

8. Климанов В. В., Казакова С. М., Яговкина В. А. Инструменты межрегионального взаимодействия в системе государственного управления // Регионология. - 2021. - № 2. - С.250-282. DOI 10.15507/2413-1407.115.029.202102.250-282.

9. Алибекова Б. А., Алдынгарова Д. Т. Государственный аудит финансовой отчетности // Central Asian Economic Review. - 2018. -№ 4. - С.72–83.

10. Бокаев Б. Н., Торебекова З. Т., Жаров Е. К., Бактиярова Б. Н. Анализ моделей государственной службы в зарубежных странах и перспективы их адаптации в Республике Казахстан // Государственный аудит. -2024. - № 1 (62).-С.167-182. DOI 10.55871/2072-9847-2024-62-1-167-182.

11. 2013 жылғы 3 қыркүйектегі Мемлекеттік аудитті жүзеге асыру тұжырымдамасы. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/U1300000634.- Қаралған күні: 07.02.2025.

12. «Мемлекеттік органдардың кадрлық ресурстарын басқару қызметінің мәртебесін арттыру» зерттеу нәтижелері туралы есеп. - Мемлекеттік қызмет саласындағы Astana Hub, 2021 ж.URL: https://surl.li/oeswbe. - Қаралған күні: 07.02.2025.

13. Шаймерденова Т. А., Жетписбаева М. К. Мотивационные аспекты государственных служащих в Казахстане в условиях цифровизации экономики // Государственный аудит. – 2024. - № 1 (62). - С.111-125. DOI 10.55871/2072-9847-2024-62-1-111-125.

14. Қазақстан Республикасы Сыбайлас жемқорлыққа қарсы іс-қимыл агенттігінің ресми сайты. URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/anticorruption?lang=ru.- Қаралған күні: 08.02.2025.

15. Қазақстан Республикасы Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігінің Ұлттық статистика бюросы // Қол жеткізу режимі: https://stat.gov.kz/ru/ - Қаралған күні: 07.02.2025.

16.2013 жылғы 3 қыркүйектегі Мемлекеттік аудитті жүзеге асыру тұжырымдамасы. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/U1300000634.- Қаралған күні: 08.02.2025.

17. OECD Recommendation of the Council on Public Service Leadership and Capability. – URL: https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0445 Қаралған күні: 08.02.2025.

18. United Nations Department of Economic and Social Affairs Working Together: Integration, Institutions and the Sustainable Development Goals. World Public Sector Report. – URL: https://publicadministration.un.org/en/Research/World-Public-Sector-Reports. Қаралған күні: 08.02.2025.

19. Қазақстан Республикасы Қаржы министрлігінің ресми сайты. URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/minfin?lang=ru.- Қаралған күні: 08.02.2025.

20. Қазақстан Республикасы Цифрлық даму, инновациялар және аэроғарыш өнеркәсібі министрлігінің ресми сайты. URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/mdai.- Қаралған күні: 09.02.2025.

21. Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің ресми сайты. URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/enbek .- Қаралған күні: 09.02.2025.

22. Қазақстан Республикасы Жоғарғы есеп палатасының ресми сайты.URL:

https://www.gov.kz/memleket/entities/esep?lang=ru.- Қаралған күні: 10.02.2025.

23. Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің ресми сайты. URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/enbek.- Қаралған күні: 10.02.2025.

24. «Мемлекеттік аудит және қаржылық бақылау туралы» Қазақстан Республикасының 2015 жылғы 12 қарашадағы Заңы. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z1500000392.- Қаралған күні:10.02.2025.

References

1. Katkovskaja I. V. Audit kadrovyh processov kak instrument ocenki sistemy upravlenija personalom organizacii // Upravlenie personalom i razvitie organizacij. - 2017. - № 1. - S.65-66. [in Russian]

2. Baharev V. V., Demenenko I. A. Tehnologija kadrovogo audita v strategii upravlenija chelovecheskimi resursami // Al’ manah «Krym». - 2022. -№ 31. - S.18-25. [in Russian]

3. Sergeev L. I. Gosudarstvennyj audit: uchebnik dlja vuzov. - 2-e izd., pererab. i dop. - M.: Jurajt, 2025. - 373 s. ISBN 978-5-534-16434-3. [in Russian]

4. Қазақстан Respublikasy Prezidentinің Қ.-Zh. Қ.Тоқаevtyn Қазақстан halқyna 2024 zhylғy 2 қyrkүjektegi zholdauy. URL: https://www.akorda.kz/ru/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-spravedlivyy-kazahstan-zakon-i-poryadok-ekonomicheskiy-rost-obshchestvennyy-optimizm-285014.- Қaralғan kүni: 07.02.2025. [in Kazakh]

5. Bratton, J., Gold, J. Human resource management: Theory and practice. 5th ed. - London: Palgrave Macmillan, 2012. - 592 p.

6. Lawler, E. E., Boudreau, J. W. Global trends in human resource management: A twenty-year analysis. - Stanford: Stanford University Press, 2015.- 216 p. ISBN 9780804791298.

7. Саунин А. Н. Государственный аудит: учебное пособие. - 2-е изд., стер. - М.: Изд-во МГУ, 2019. - 480 с. ISBN 978-5-19-011412-6. [in Russian]

8. Климанов В. В., Казакова С. М., Яговкина В. А. Инструменты межрегионального взаимодействия в системе государственного управления // Регионология. - 2021. - № 2. - С.250-282. DOI 10.15507/2413-1407.115.029.202102.250-282. [in Russian]

9. Алибекова Б. А., Алдынгарова Д. Т. Государственный аудит финансовой отчетности // Central Asian Economic Review. - 2018. -№ 4. - С.72–83. [in Russian]

10. Бокаев Б. Н., Торебекова З. Т., Жаров Е. К., Бактиярова Б. Н. Анализ моделей государственной службы в зарубежных странах и перспективы их адаптации в Республике Казахстан // Государственный аудит. -2024. - № 1 (62).-С.167-182. DOI 10.55871/2072-9847-2024-62-1-167-182. [in Russian]

11. 2013 zhylғy 3 қyrkүjektegi Memlekettik auditti zhүzege asyru tүzhyrymdamasy. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/U1300000634.- Қaralғan kүni: 07.02.2025. [in Kazakh]

12. «Memlekettik organdardyң kadrlyқ resurstaryn basқaru қyzmetinің mərtebesin arttyru» zertteu nətizheleri turaly esep. - Memlekettik қyzmet salasyndaғy Astana Hub, 2021 zh.URL: https://surl.li/oeswbe. - Қaralғan kүni: 07.02.2025. [in Kazakh]

13. Shajmerdenova T. A., Zhetpisbaeva M. K. Motivacionnye aspekty gosudarstvennyh sluzhashhih v Kazahstane v uslovijah cifrovizacii jekonomiki // Gosudarstvennyj audit. - 2024. - № 1 (62). - S.111-125. DOI 10.55871/2072-9847-2024-62-1-111-125. [in Kazakh]

14. Қazaқstan Respublikasy Sybajlas zhemқorlyққa қarsy is-қimyl agenttiginің resmi sajty. URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/anticorruption?lang=ru.- Қaralғan kүni:08.02.2025. [in Kazakh]

15. Қазақстан Respublikasy Strategijalyқ zhosparlau zhəne reformalar agenttiginің Ұlttyқ statistika bjurosy // Қol zhetkizu rezhimi: https://stat.gov.kz/ru/ - Қaralғan kүni: 07.02.2025. [in Kazakh]

16.2013 zhylғy 3 қyrkүjektegi Memlekettik auditti zhүzege asyru tұzhyrymdamasy. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/U1300000634.- Қaralғan kүni:08.02.2025. [in Kazakh]

17. OECD Recommendation of the Council on Public Service Leadership and Capability. - URL:https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0445. Қaralғan kүni: 08.02.2025. [in Kazakh]

18. United Nations Department of Economic and Social Affairs Working Together: Integration, Institutions and the Sustainable Development Goals. World Public Sector Report. - URL: https://publicadministration.un.org/en/Research/World-Public-Sector-Reports.

19. Қazaқstan Respublikasy Қarzhy ministrliginің resmi sajty. URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/minfin?lang=ru.- Қaralғan kүni: 08.02.2025. [in Kazakh]

20. Қazaқstan Respublikasy Cifrlyқ damu, innovacijalar zhəne ajeroғarysh өnerkəsibi ministrliginің resmi sajty. URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/mdai.- Қaralғan kүni: 09.02.2025. [in Kazakh]

21. Қazaқstan Respublikasy Eңbek zhəne halyқty əleumettik qorғau ministrliginің resmi sajty. URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/enbek .- Қaralғan kүni: 09.02.2025. [in Kazakh]

22. Қazaқstan Respublikasy Zhoғarғy esep palatasynyң resmi sajty.URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/esep?lang=ru.- Қaralғan kүni: 10.02.2025. [in Kazakh]

23. Қazaқstan Respublikasy Eңbek zhəne halyқty əleumettik qorғau ministrliginің resmi sajty. URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/enbek.- Қaralғan kүni: 10.02.2025. [in Kazakh]

24. «Memlekettik audit zhəne қarzhylyқ baқylau turaly» Қazaқstan Respublikasynyң 2015 zhylғy 12 қarashadaғy Zaңy. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z1500000392.- Қaralғan kүni: 10.02.2025. [in Kazakh]

Авторлар туралы мәліметтер

Мукушева А.Р. – магистр, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Мемлекеттік аудит» Астана, Қазақстан, e-mail: suleimenova.ar@bk.ru;

Серикова М.А. - Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Мемелкеттік аудит қауымдастырылған кафедрасының қауымдастырылған профессоры PhD, Астана, Қазақстан, e-mail: madinaserikova81@gmail.com.

Information about the authors

Mukusheva A. - master’ s degree, 1st year doctoral student of the Department of public auditing, Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan, e-mail: suleimenova.ar@bk.ru;

Serikova M. - PhD, associate professor, Department of state audit, Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan, e-mail: madinaserikova81@gmail.com.

IRSTI 06.52.13 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1188**

SUSTAINABLE DEVELOPMENT RURAL AREAS OF KAZAKHSTAN: CURRENT STATE

[1]Zh. S.Bulkhairova, [2]Zh. Yerniyazova, [2]B. Aidosova, [2]A.A. Makenova, [3]A.Zh. Mashayeva, [2]G. Ospanova

[1]Kazakh National University of Sports, Astana, Kazakhstan,
[2]Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan,
[3]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Corresponding author: bolat39@mail.ru

In this paper, the authors analyze the contemporary sustainable development of rural territories. It is the stability of the agricultural sector that exerts the greatest influence on the condition of all spheres of human activity, ranging from regional to global levels. The sustainable growth of both the national and regional economy, considering the general trends of functioning and advancement of the country, possesses its own specific features defined by the conditions of production, the efficiency of resource utilization, human capital, and other factors. Sustainable development reflects a state of balanced and fair progress, expressed through the coordinated use of natural resources, distribution of investments, direction of technological advancement, personal improvement, and institutional reforms. At present, Kazakhstan's economic development has contributed to a more rational operation of the agricultural management system. The study emphasized the current status of rural sustainability: the condition of rural territories, principal indicators of animal husbandry, crop production, and related areas. It should also be stressed that to successfully implement the principles of the Sustainable Development Goals, a comprehensive investigation is required, with special focus on gender aspects within all demographic groups. Currently, in Kazakhstan, during budget planning, efforts are made to systematically consider the demands of diverse demographic categories. Therefore, acquiring strong skills in effective cost reduction is essential, as it ensures the production and sale of agricultural goods with competitive advantages over other market actors. To broaden the range of agricultural products, it is equally important to acquire expertise in diversification of agricultural production.

Keywords: sustainable development, settlements, rural areas, agriculture, crop production, animal husbandry, ecology, agricultural products.

ҚАЗАҚСТАННЫҢ АУЫЛДЫҚ АУМАҚТАРЫНЫҢ ТҰРАҚТЫ ДАМУЫ: ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ

[1]Ж.С. Булхаирова, [2]Ж. Ерниязова, [2]Б. Айдосова, [2]А.А. Макенова, [3]А.Ж. Машаева, [2]Г. Оспанова

[1]Қазақ ұлттық спорт университеті, Астана, Қазақстан,
[2] Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан,
[3] Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail: bolat39@mail.ru

Бұл мақалада авторлар ауылдық аумақтардың қазіргі тұрақты дамуын қарастырады. Дәл ауыл шаруашылығы секторының тұрақты дамуы адам қызметінің барлық салаларына – аймақтықтан ғаламдық деңгейге дейін – ең үлкен әсерін тигізеді. Елдің немесе жекелеген өңірдің экономикасының тұрақты дамуы, мемлекеттің жалпы қызмет ету және даму заңдылықтарын ескере отырып, өндіріс үдерісінің жағдайларымен, ресурстық әлеуетті пайдалану тиімділігімен, адами капиталмен және басқа да факторлармен айқындалатын өзіндік ерекшеліктерге ие. Тұрақты даму табиғи ресурстарды үйлесімді пайдалануымен, инвестицияларды бөлуімен, ғылыми-техникалық прогрестің бағытталуымен, тұлғалық өсумен және институционалдық өзгерістермен сипатталатын теңгерімді әрі әділетті ілгерілеу жағдайын білдіреді. Бүгінде Қазақстан экономикасының дамуы ауыл шаруашылығы басқару жүйесінің неғұрлым ұтымды жұмыс істеуіне ықпал етті. Зерттеуде ауылдық аумақтардың тұрақты дамуының қазіргі жағдайы: ауылдық аумақтардың жағдайы, мал шаруашылығы мен егіншіліктің негізгі көрсеткіштері және басқа да салалар қарастырылды. Сондай-

ақ, Тұрақты даму мақсаттарын тиімді іске асыру үшін барлық демографиялық топтардағы гендерлік мәселелерге ерекше көңіл бөлуге негізделген кешенді зерттеу жүргізу қажеттігін атап өткен жөн. Қазіргі таңда Қазақстанда бюджет жоспарлау барысында әртүрлі демографиялық топтардың қажеттіліктерін жүйелі түрде ескеруге бағытталған жұмыс атқарылуда. Сондықтан шығындарды тиімді қысқарту дағдыларын меңгеру аса маңызды, себебі бұл ауыл шаруашылығы өнімдерін басқа нарық қатысушыларымен салыстырғанда бәсекелік артықшылықтармен өндіруге және сатуға мүмкіндік береді. Ауыл шаруашылығы өнімдерінің алуан түрлілігін арттыру үшін аграрлық өнімдерді әртараптандыру қабілетін игеру де қажет.

Түйін сөздер: тұрақты даму, кенттер, ауылдық аумақтар, ауыл шаруашылығы, Өсімдік шаруашылығы, мал шаруашылығы, экология, ауыл шаруашылығы өнімдері.

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ КАЗАХСТАНА: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

[1]Ж.С. Булхаирова, [2]Ж. Ерниязова✉, [2]Б.Х. Айдосова, [2]А.А. Макенова, [3]А.Ж. Машаева, [2]Г. Оспанова

[1] Казахский национальный университет спорта, Астана, Казахстан,
[2] Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан,
[3] Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
e-mail: bolat39@mail.ru

В данной статье авторы рассматривают современное устойчивое развитие сельских территорий. Именно устойчивое развитие аграрного сектора оказывает наибольшее влияние на состояние всех сфер человеческой деятельности – от регионального до глобального уровня. Устойчивое развитие экономики как всей страны, так и отдельных регионов, с учётом общих закономерностей функционирования и развития государства, имеет собственные особенности, которые определяются условиями производственного процесса, эффективностью использования ресурсного потенциала, человеческим капиталом и другими факторами. Устойчивое развитие отражает состояние сбалансированного и справедливого прогресса, характеризующегося согласованным использованием природных ресурсов, распределением инвестиций, направлением научно-технического прогресса, личностным ростом и институциональными преобразованиями. Сегодня развитие экономики Казахстана способствовало более рациональному функционированию системы управления в аграрной сфере. В работе освещено современное состояние устойчивого развития сельских территорий: состояние сельских районов, основные показатели животноводства, растениеводства и других направлений. Также следует отметить, что для эффективной реализации идей Целей устойчивого развития необходимо проведение комплексного исследования, в ходе которого особое внимание будет уделяться гендерным вопросам во всех демографических группах. В настоящее время в Казахстане в процессе бюджетного планирования ведётся работа по системному учёту потребностей различных демографических категорий. Таким образом, приобретение навыков эффективного управления сокращением затрат имеет решающее значение, так как позволяет производить и реализовывать сельскохозяйственную продукцию с конкурентными преимуществами по сравнению с другими участниками рынка. Для расширения разнообразия сельскохозяйственной продукции важно также овладеть умением её диверсификации.

Ключевые слова: устойчивое развитие, поселки, сельские территории, сельское хозяйство, растениеводство, животноводство, экология, сельхлозпродукция.

Introduction. Achieving sustainable economic growth remains one of the challenges facing the world today. The concept of economic growth goes beyond short-term economic growth; it emphasizes the importance of economic development and efficient use of resources while preserving the environment for future generations. In fact, sustainable development involves achieving three

interrelated goals: promoting economic growth, ensuring social equality, and protecting the environment. Only by achieving these goals together can genuine long-term economic stability be achieved.

The path of economic development, whether national or regional, is determined by governance principles and local conditions such as productivity, resource efficiency, and human development. Economic growth cycles are often characterized by an increase in consumer demand combined with increased productivity, expanding markets, and rising living standards. However, it should be noted that rapid economic growth often comes at a high cost, including environmental degradation and social inequality. However, the key to sustainable development is making smart decisions and strategies that ensure a balance between growth and work, ensuring that today' s progress does not jeopardize tomorrow' s opportunities.

At the global level, the Sustainable Development Goals (SDGs) are a worldwide call for action to eradicate poverty, protect the planet, improve human health, and empower all people. Adopted in 2015 by all UN member States as part of the 2030 Agenda for Sustainable Development, SDG 16 reflects a 15-year global agenda for building a just, sustainable and inclusive world. Despite progress towards achieving these goals, the overall results remain uneven and the pace of change does not match the needs. Thus, 2020 marks the beginning of an important "decade of action" that highlights the urgent need to redouble efforts to achieve these goals by 2030. An equally important role is played by the annual DIM global reporting system, which provides a comprehensive assessment of progress, identifies areas of success and areas where attention should be focused. These reports are compiled on the basis of data provided by international and regional organizations, specialized agencies, foundations and monitoring centers under the auspices of the United Nations Department of Economic and Social Affairs. In addition, national statistical authorities, civil society representatives, and academics play an important role in ensuring that the monitoring process reflects diverse perspectives and provides reliable information. The purpose of this article in this global context is to assess the current state of rural development in Kazakhstan and to assess the implementation of National Environmental Policy in the economic, social and environmental context.

Materials and methods. Developing a comprehensive framework for measuring sustainable development, which integrates both quantitative indicators and qualitative characteristics, represents one of the central and most challenging tasks within the broader concept of rural sustainability. Such an approach is essential because rural development involves not only economic growth but also the preservation of ecological balance, improvement of social well-being, and strengthening of institutional capacity at the local level. The "Agenda for the 21st Century" program, adopted at the United Nations Conference on Environment and Development in Rio de Janeiro in 1992, drew attention to the importance of creating a structured system of sustainability indicators. These indicators have been identified as important tools for decision makers that enable them to monitor trends, assess risks, and make informed decisions. In addition, they form the methodological basis for ensuring the sustainability and longevity of integrated ecological systems and rural areas dependent on them.

At the current stage of research and based on a review of the scientific literature, it is becoming clear that there are no generally accepted quantitative criteria that can be consistently used to determine the level of development in different countries, regions or rural areas. Despite significant progress in this area, researchers and scientists still have different and sometimes contradictory opinions about the fundamentals of "sustainable development", its definition and the best ways to achieve it. This diversity of viewpoints reflects the complexity of the concept itself, but at the same time enriches scientific discussions and opens up the possibility for collaborative approaches. After studying numerous studies and scientific literature on this topic, two main approaches to the development of sustainability indicators can be

identified. The first approach focuses on economic and environmental sustainability, while the second focuses more on the environment and long-term institutional development.

Theoretical and empirical data were used in the preparation of this article. The theoretical framework was built on the basis of basic concepts and applied methods developed by domestic and foreign researchers in the field of rural development. In addition, various materials presented at international and domestic scientific and practical conferences and forums were presented, as well as technical work on practical models of sustainable development management and their direct impact on rural development dynamics. These resources have provided a better understanding of global trends and how these principles can be adapted to the specifics of Kazakhstan.

The empirical basis of the study was mainly based on statistical data published by the National Bureau of Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. Statistical bulletins, collections, and official documents provided reliable and up-to-date information reflecting the current state of rural areas, their development dynamics, and major challenges. In addition, the analytical work of modern researchers on rural sustainability was reviewed, the main indicators of rural development, socio-economic changes were presented, and an in-depth analysis of environmental conditions was conducted. The combination of these sources provided a unique analytical approach to the article, which allowed us to explore not only abstract theoretical models, but also real-world experience, supported by empirical evidence and substantial observations.

Results and Discussion. Achieving sustainable economic growth remains one of the most difficult challenges facing all countries of the world today. This issue is not only economic, but also social and environmental in nature and requires a multidimensional approach. It should be emphasized that the main goal of development is to ensure long-term economic growth and economic development while preserving, strengthening, managing natural resources and protecting the environment for future generations. In modern discourse, the concept of ”sustainable development” is defined as a state of the national economy in which three closely related goals are simultaneously achieved: economic stability, human health promotion and effective environmental protection. These three components are the cornerstone of sustainable development, and the balance between them determines the sustainability and longevity of any society. However, it should be emphasized that although the concept of sustainable development is internationally recognized and is increasingly being discussed in academic, political and professional circles, the depth and scope of research on this issue remains limited, especially in national studies. However, with the focus on rural development, there has been growing cooperation. Among the scientists who have made significant contributions to this field are Faber A., Khambar B., Utebayeva A. B., Kafyatullina D. F. and others [1-2]. Their research highlights the difficulty of integrating the economic, social and environmental aspects of rural development into a single concept.

Clarifying the precise definition of ”sustainable development” is a key element in advancing the discussion, as different authors interpret this concept in different ways. It is well known that the World Commission on Environment and Development defines sustainable development as a set of measures aimed at meeting the needs of our time while preserving the quality of the environment and natural resources in order not to jeopardize the ability of future generations to meet their own needs. Similarly, G.H. Brundtland articulated it as a model of human progress in which the basic needs of the current generation are fulfilled without depriving future generations of this opportunity. In contrast, Aitzhanova D.A. and Omarov A.K. emphasize a transformative process whereby natural resource management, investment flows, scientific and technological progress, social conditions, and institutional reforms are carefully coordinated, thereby strengthening the state’s ability to meet the population’s needs in the long term. At the same time, Pustnikova E. V. and

Uskova E. O. emphasize that sustainability should be considered as a system in which competing economic and social systems of society are formed by harmonizing and balancing the interests of all participants - initially within the framework of economic well-being, gradually moving towards ecological and natural systems.

From this other point of view, it can be concluded that the concept of sustainability is a global human structure based on two fundamental principles: anthropocentrism and biospherocentrism. Anthropocentrism presupposes equal opportunities to meet their basic needs by ensuring the universal right of all people to life, health and dignity. On the other hand, biospherocentrism emphasizes the importance of preserving the biosphere as the fundamental basis of all life on Earth. He emphasizes the importance of ecological stability, natural evolution, and ecological balance, but also emphasizes that human development should not take place in a way that damages the environment or destroys the natural systems on which life depends.

A number of local scientists also expressed valuable ideas about the development of the village. For example, Y. N. Buzdalov emphasizes the exceptional role of the economic factor in ensuring the sustainability of rural areas. A. A. Anfinogentova considers the development of the socio-economic structure of the food industry as an important factor of sustainability, emphasizes its importance for ensuring food security of the country. E. N. Aile, a member of the Russian Academy of Agricultural Sciences, emphasizes the versatility of agriculture and the important role of agriculture in the context of agricultural development. His work demonstrates not only the interdependence and interaction of the main factors — economic, social and environmental — but also the role of agricultural knowledge and skills in food security. This vision reflects a unique perspective for rural development, in which the agricultural sector acts not only as a producer of products, but also as the main driver of innovation, knowledge transfer and prosperity in rural areas [3, 4].

This perspective is further expanded by V. V. Kozlov, V. M. Bautin and A.V. Merzlov, who provide a broad and comprehensive definition of rural development. According to their interpretation, this is a rural development strategy that ensures the fulfillment of basic economic functions (food production, processing of agricultural and related products, provision of public utilities), as well as rural livelihoods, cultural traditions, rational use of land, developed territories and the preservation and maintenance of human development. Moreover, their approach stresses the importance of improving the quality of rural living, maintaining ecological equilibrium in the biosphere, and safeguarding the environment as an inseparable component of rural development [5].

At present, rural areas remain the backbone of agricultural and food production, serving as the primary source of resources that guarantee the food security of the nation. Agriculture is the main producer of agricultural products, which is the basis of national stability and self-sufficiency. Food security, which is one of the pillars of sustainable development, is directly linked to the ability of rural areas to maintain and increase production. However, problems remain: the lack of sustainable farming practices often leads not only to shortages at the national level, but also exacerbates global food security problems. As a result, rural development is becoming an important factor not only for meeting domestic needs, but also for addressing global challenges related to hunger, poverty, and equal access to resources.

Since the introduction of market relations, Kazakhstan’ s food sector has undergone profound and multifaceted changes, the consequences of which continue to shape the national economy. These changes have had a significant impact on many aspects of this sector, in particular on the volume and structure of agricultural and food production, the balance between supply and demand in the domestic market, the ratio between domestic production and imports, the dynamics of prices for basic foodstuffs and the overall stability of the food economy. First of all, it should be recognized that compared to the period before the reform, production volumes and productivity levels

have significantly decreased. These events had long-term consequences for the viability of agriculture and food security.

One of the main reasons for these changes is the restructuring of the primary sector, in particular the introduction of private ownership. The privatization process has led to a reorganization of land use and a reduction in the centralized allocation of agricultural resources. This has led to a decrease in the area of land used for large-scale agricultural activities. As a result, large agricultural enterprises that previously provided the main means of production have been replaced by small farmers such as family farms, peasant farms, and individual farmers. While this diversification has led to increased ownership, it has also led to fragmentation of production, weakening its efficiency and reducing its ability to meet industrial demand.

Simultaneously, the processing capacity of the food industry underwent a sharp decline. Many enterprises, including large meat processing and dairy processing plants, have ceased operations or significantly reduced production. This situation has weakened the infrastructure that previously ensured Kazakhstan' s food self-sufficiency. The decrease in production capacity has not only affected production volumes, but has also changed the quality and range of food products offered to consumers, as well as increased the country' s dependence on imports. In this context, it is important to emphasize the key role of rural development in the implementation of food security policies. Rural areas form the backbone of the country' s food production, and their sustainable production capacities directly reflect the effectiveness of the Government' s efforts to ensure food security. Therefore, it is important to constantly monitor and evaluate in detail the potential of rural development. At the same time, promoting rural development requires making reasonable use of the comparative advantages of geographical location, identifying and promoting "growth zones", creating priority development zones, and integrating institutional and financial mechanisms to promote progress. Another important task is to create a financial base for regions and rural areas so that they can respond independently and flexibly to new challenges. It is also important to recognize that within the same region, many rural areas may have different socio-economic characteristics, levels of sustainability, and development prospects. The sustainability and viability of these zones depend on the coordinated interaction of many factors: rational resource management, reasonable allocation of investments, promotion of scientific and technological knowledge, formation of human capital and institutional reforms. Together, these factors create conditions for fair and equitable development, thus strengthening the ability of communities to meet the needs and aspirations of the population. This, in turn, guarantees an increase in the standard of living not only for current generations, but also for future ones.

At the international level, sustainable development is defined as a path of economic growth that simultaneously promotes human progress and prevents the depletion of natural resources. Sustainable change requires the gradual introduction of self-organizing social systems, including economic, social, and environmental systems. Sustainable development itself is characterized by three principles: effective economic management, environmental protection and rational use, and social justice. These principles serve as criteria for formulating public policy and evaluating development successes.

Currently, the state planning system of Kazakhstan plays a decisive and strategic role in guiding the nation toward the achievement of its sustainable development objectives. Over the past several years, this system has been substantially restructured to emphasize not only abstract priorities but also clearly measurable and concrete outcomes. Since 2021, Kazakhstan has adopted a renewed state planning model (see Figure 1), where the central principle is the integration of measurable indicators directly linked to the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs) into state planning and programmatic documents.

This transformation reflects the country' s

desire to align its national planning system more closely with global standards of sustainable development. In the same year, Kazakhstan also adopted a set of national SDG indicators, which provide a framework for assessing progress towards achieving global goals. These indicators serve as tools to track progress in national development, strengthen government accountability, and ensure that local initiatives align with global development commitments. The transformation of the Kazakh food sector reflects, in particular, the duality of this evolution: on the one hand, there are serious challenges associated with structural reforms, on the other - there are new opportunities to strengthen the political base of the government. Although market mechanisms and trade have significantly transformed the agro-industrial sector, the long-term success of food security policies depends on strengthening rural resilience, increasing sustainability, and integrating sustainable development principles into planning and budgeting.

At the same time, it should be underlined that Kazakhstan is still at an early stage of embedding the SDGs into its budgetary planning framework. Recognizing this, the government, with the technical support of the UN Development Programme (UNDP), undertook a rapid yet detailed review of budgetary programs in order to evaluate the degree to which the allocation of national resources is aligned with the SDGs [6]. This assessment covered a wide range of functional groups and revealed that budget programs currently address approximately 46% of the SDG-related targets (77 out of 167).

The analysis further demonstrated uneven alignment across the different goals. The strongest compliance was found with SDG 16, which addresses “peace, justice, and effective institutions” – achieving an impressive 92%. This was followed by SDG 11, on “sustainable cities and human settlements,” with 80%, and SDG 9, focusing on “industrialization, innovation, and infrastructure,” with 75%. Education (SDG 4) also demonstrated high compliance at 70%, while “good health and well-being” (SDG 3) reached 69%, and SDG 13, on climate change action, showed 67% alignment. Moderate correspondence was observed for SDG 7 on clean and affordable energy (60%), SDG 8 on decent work and economic growth (50%), and SDG 12 on responsible consumption and production (45%). However, alignment was weaker in relation to SDG 1, “ending poverty” (43%), and SDG 10, “reducing inequality” (40%). The lowest levels of compliance were recorded for SDG 17, “partnerships for sustainable development” (37%), SDG 15, “life on land” (33%), and SDG 2, “zero hunger,” which reached only 25%.

These findings highlight a critical issue: although progress has been made, the current degree of budget program compliance with the SDGs cannot yet be regarded as a strong or sufficient indicator of financial support for achieving these goals. Ongoing efforts are therefore aimed at further harmonizing budget programs with SDG targets, ensuring more efficient distribution of financial resources, and aligning state expenditure with sustainable development priorities [7].

Another important aspect is the need to integrate cross-cutting social issues into planning and budgeting. For example, the effective realization of SDG principles requires a comprehensive approach that considers gender equality across all demographic groups. In Kazakhstan, efforts are already being made to incorporate the needs of different population categories into the budgetary process. With the support of the UN Children’s Fund (UNICEF), a child-oriented budgeting framework has been developed, designed to measure and strengthen the level of social protection for children [8, 9]. This initiative demonstrates Kazakhstan’s movement toward more inclusive budgeting practices that reflect the diversity of its population.

In addition to institutional changes, Kazakhstan’s future development will largely depend on the development of new approaches to agricultural production. Increasing the efficiency and sustainability of agriculture is considered by the population as a key factor in food security and overall economic efficiency. However, the development, implementation and management of

efficient agricultural systems remains a challenging task. Sustainable agriculture is important not only to meet domestic needs, but also to address global challenges such as population growth, income inequality, environmental degradation, and resource depletion. It also helps to meet these two future needs. Agricultural sustainability, therefore, requires close integration of economic, social, and environmental dimensions, as well as active collaboration between different sectors [10, 11].

The establishment of an effective management mechanism within the agrarian economy represents a key prerequisite for enhancing Kazakhstan's overall competitiveness at the current stage of its development. Recent progress in the national economy has facilitated a more rational and structured performance of the agricultural management system. Moreover, the utilization of local agricultural products offers several competitive advantages, including vast expanses of arable land, the ecological purity of domestic products, and the availability of surplus labor in rural areas. Together, these factors create favorable conditions for high-quality and competitive food production, thereby strengthening the country' s food security and Kazakhstan' s opportunities on world agricultural markets [12, 13].

It should be emphasized that the development of agriculture is inextricably linked to various security measures, in particular political, legal, economic, environmental, social, information, governance and international cooperation. Agriculture is not an isolated sector but a system that interacts with virtually every area of national development, making its effective regulation a matter of strategic importance. In this context, government regulation of agriculture is rightly regarded as one of the most crucial functions of public administration. Without Government oversight and targeted policy measures, it would be difficult, if not impossible, to ensure food security, protect the interests of rural populations, and conserve natural resources.

From an economic point of view, the best way to achieve good results within the framework of sustainable growth is to maintain a balance between two forces: direct government intervention and the autonomy of producers in market mechanisms. A balanced approach allows governments to set common standards, provide infrastructure, and protect vulnerable sectors, while leaving producers free to adapt to market conditions, innovate, and compete. However, in practice, agriculture and the food market cannot be regarded as fully self-regulating systems. Their distinctive characteristics – reliance on land as the principal production resource, underdeveloped infrastructure, limited pace of technological modernization, dependence on natural and climatic conditions, conservatism of production practices, rigidity of institutional structures, low profitability, and persistent disparities in agricultural pricing – hinder their ability to self-balance and adapt quickly to shocks [14,15].

For this reason, government involvement remains indispensable.

When discussing the modern sustainability of rural territories, several important aspects should be underlined. First, the financial resources of rural areas are generally much smaller compared to those of urban centers. Limited local budgets restrict the ability of rural administrations to address pressing social and environmental problems, which, in turn, hampers their ability to achieve a sustainable balance across the economic, social, and ecological dimensions.

However, ensuring rural sustainability requires not only local initiatives, but also government support, allocation of resources, and well-designed rural development programs.

In this context, territorial planning plays a key role, which determines the distribution of population and resources in the territory of the Republic of Kazakhstan. Territorial planning allows a country to distinguish between different types of settlements and their development needs, whether they are large cities, growing cities, medium-sized cities or small rural settlements. This distinction is important because each type of settlement faces different challenges: while cities experience overcrowding and problems with urban infrastructure, villages often face demographic decline, lack of investment, and unemployment.

The structure of Kazakhstan' s territorial administration reflects this diversity. At the beginning of 2023, there were 17 regions, 188 districts and 89 cities in the country, three of which - Astana, Almaty and Shymkent - were declared the capitals of the country. In addition, there were 29 cities, 2,177 administrative districts and 6,295 settlements in Kazakhstan. This structure reflects the scale and complexity of rural and urban area management within a single administration.

By July 1, 2025, the administrative and territorial system of Kazakhstan has become more extensive and organized. It included 17 regions and three national capitals: Astana, Almaty and Shymkent. At the regional level, there were 195 administrative districts that functioned as integral parts of regional Governments and played a key role in the implementation of national policies at the local level. The urban network included 90 cities, including three cities of national significance and 29 cities with official status. The rural system was represented by 2,159 administrative districts and 6,124 villages, which emphasized the predominance of rural areas in terms of land distribution and settlement patterns.

This administrative system therefore combines large urbanized centers with an expansive network of rural districts, creating a multi-level governance framework capable of managing both the challenges of modernization and the needs of rural sustainability. The coexistence of megacities with dynamic economies and small villages dependent on agriculture illustrates the diversity of Kazakhstan's territorial development model. It also highlights the importance of designing policies that are flexible enough to meet the requirements of different settlement types, while simultaneously ensuring coherence and balance at the national level (Table 1).

Table 1 - Administrative-territorial units of the Republic of Kazakhstan as of July 1, 2025

	Districts			Settlements					Akim's Office				
	total	of these: districts in cities		City			Villages	Village	Village		county		rural
				total	Of these:				total	of which: consisting of only one LS*	total	of which: consisting of only one LS*	
		Republican Significance	of regional significance		of regional significance	of District Significance							
Kazakhstan	195	19	6	90	39	48	29	6124	27	19	2159	508	105
Abay	10	-	-	4	2	2	2	320	2	2	134	39	-
Akmola	17	-	-	11	3	8	5	589	5	4	191	19	38
Aktobe	14	-	2	8	1	7	-	312	-	-	133	32	2
Almaty	9	-	-	5	2	3	-	368	-	-	131	33	-
Atyrau	7	-	-	2	1	1	-	153	-	-	67	23	-
West Kazakhstan	12	-	-	2	1	1	3	405	3	-	147	25	-
Zhambyl	12	-	2	4	1	3	-	353	-	-	146	38	3
Zhetysu	8	-	-	6	2	4	-	350	-	-	112	15	-

Karaganda	9	-	2	8	6	2	8	342	7	7	151	54	5
Kostanay	16	-	-	6	4	2	3	492	3	2	156	27	36
Kyzylorda	7	-	-	4	2	2	2	223	2	-	142	97	-
Mangystau	5	-	-	3	2	1	-	59	-	-	34	24	12
Pavlodar	10	-	-	3	3	-	3	352	3	3	119	14	4
North Kazakhstan	13	-	-	5	1	4	-	590	-	-	186	26	-
Turkestan	14	-	-	7	3	4	-	794	-	-	174	21	3
Ulytau	2	-	-	3	3	-	2	72	2	1	33	11	-
East Kazakhstan	11	-	-	6	2	4	1	350	-	-	103	10	2
Astana city	6	6	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Almaty city	8	8	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Shymkent city	5	5	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
* LS - Local Settlements													

It should be emphasized that promising rural settlements must include infrastructure elements that enable the expansion of entrepreneurial initiatives, as well as essential components such as advisory support and organizational structuring of enterprises.

During the years of independence, rural development has faced a structural crisis caused by the transformation of ownership models and the transition of all spheres of activity to market-based principles.

In GDP composition, the agricultural sector's share in 2022 reached 5.2%, with the physical volume index compared to the same period of the previous year standing at 106.4%. It should also be highlighted that the growth of the rural population in 2022 rose from 155,8 thousand people in 2018 to 111,9 thousand people. According to the Bureau of National Statistics, by the close of 2023, the gross volume of agricultural production amounted to 37 754,7 million tenge, showing a substantial increase. For instance, in 2018, the gross output grew from 4 497 585,4 million tenge to 9 521 002,3 million tenge in 2022- nearly doubling. Next, let us examine the availability of cereals and legumes by Kazakhstan's regions as of January 1, 2024.

As of July 1, 2025, the reserves of cereals and legumes in the Republic of Kazakhstan amounted to 6.7 million tons, of which the main part is wheat — 5.7 million tons. At the same time, food grains form the predominant volume (5.8 million tons), while the share of seed and feed grains is significantly less — 149 thousand tons and 692 thousand tons, respectively. Among other crops, significant amounts are accounted for by barley (502 thousand tons), oats (118 thousand tons), rice (111 thousand tons), corn (63 thousand tons), buckwheat (48 thousand tons) and millet (23 thousand tons). Thus, the stock structure shows the dominant importance of wheat in the country' s food security, while the share of other crops remains relatively small, indicating weak diversification, but at the same time underscores the strategic role of the grain sector for the economy and sustainable development of Kazakhstan' s agricultural regions (Table 2) [15].

In 2022, Kazakhstan's agricultural sector demonstrated notable growth in both animal husbandry and crop production, reflecting positive dynamics in comparison with the previous year. The

French total production volume in the livestock sector reached 25 127.3 million tenge, which is 103.6% of the level of 2021, which indicates the stability and steady growth of this sector. The volume of production in crop production amounted to 12 623.7 million tenge, which is 110.6% more than in the previous year, which indicates a rapid increase in agricultural production. If we consider the specific results of animal husbandry, the country produced 12 463.3 tons of meat (in live weight), which is 104.3% of the previous year' s level. Milk production also increased to 40 727.6 tons (105.2%), and egg production reached 2 578.200, which is 102.5% more than in the previous year. These figures confirm not only the high growth rates of the agricultural sector, but also its significant contribution to ensuring food security. In this regard, it is important to continue analyzing the main trends in agricultural production in Kazakhstan, as this region plays an important role in the development of agricultural production and the stability of the country' s economy.

Table 2 - Availability of grain and legumes by region as of July 1, 2025 (tons)

	Total	Including							
		for legal entities with the main type of activity						for other legal entities	for individual entrepreneurs and peasant/farm enterprises
		crop and animal husbandry, hunting and provision of services in these areas	production of the flour and cereal industry	wholesale of grain, seeds and animal feed	grain warehousing and storage	production of ready-made feed for farm animals	production of other basic organic chemicals		
Kazakhstan	6 679 010,6	2 323 493,1	903 658,6	188 409,0	2 156 179,4	12 547,5	7 300,5	151 055,0	936 367,5
Abay	128 898,3	55 757,7	19 178,1	8 317,1	-	-	-	-	45 645,4
Akmola	1 678 481,7	561 168,4	179 590,2	4 710,5	734 037,5	-	4 424,3	11 273,0	183 277,8
Aktobe	153 559,2	27 537,7	39 365,4	49 607,2	30 321,4	-	1 890,7	1 515,7	3 321,1
Almaty	52 250,7	31 661,4	14 103,7	809,4	x	21,0	x	818,9	1 949,1
Atyrau	347,3	-	-	-	-	-	-	347,3	-
West Kazakhstan	118 651,7	17 615,6	55 421,8	2 861,8	23 775,8	x	-	2 267,7	16 609,0
Zhambyl	47 395,9	9 252,0	1 808,5	-	-	-	-	19,7	36 315,7
Zhetysu	12 708,5	1 568,2	-	4 053,2	-	-	-	7 033,5	53,6

Karaganda	463 105,8	240 749,8	52 568,8	5 413,8	46 728,2	-	-	7 890,5	109 754,7
Kostanay	1 384 167,5	399 044,6	172 645,8	72 091,5	471 162,9	64,7	-	4 685,7	264 472,3
Kyzylorda	110 168,3	32 679,5	47 564,1	-	-	-	-	11 143,8	18 780,9
Mangystau	2 082,0	x	x	-	-	-	-	-	-
Pavlodar	264 325,5	122 870,9	27 654,1	21 644,3	37 473,1	-	-	16 326,3	38 356,8
North Kazakhstan	1 903 621,7	739 069,6	128 182,9	12 392,8	769 669,2	8 568,8	-	58 912,2	186 826,2
Turkestan	52 467,5	12 022,5	36 635,7	-	-	-	-	96,0	3 713,3
Ulytau	2 265,1	-	1 800,0	-	-	-	-	-	465,1
East Kazakhstan	203 511,6	65 411,6	52 510,6	6 445,1	25 675,5	3 793,0	-	27 226,6	22 449,2
Astana city	23 965,1	-	7 990,0	-	15 434,1	-	-	541,0	-
Almaty city	1 286,1	-	x	62,3	-	-	-	-	-
Shymkent city	75 751,1	5 919,6	64 497,1	-	-	-	-	957,1	4 377,3

Table 3 - The main indicators of livestock development in all categories of farms

	Agricultural formations			**Including**						**Households of the population**			**All categories of farms**		
				agricultural enterprises			**individual entrepreneurs and peasant or farm enterprises**								
	2025	2024	2025 as a percentage of 2024	2025	2024	2025 as a percentage of 2024	2025	2024	2025 as a percentage of 2024	2025	2024	2025 as a percentage of 2024	2025	2024	2025 as a percentage of 2024
Production of certain types of livestock products in January-July															
Slaughtered on the farm or sold for slaughter of livestock and poultry (in live weight), tons	577 688,1	572 202,8	101,0	378 221,2	383 512,2	98,6	199 466,9	188 690,6	105,7	442 304,9	429 497,9	103,0	1 019 993,0	1 001 700,7	101,8

Slaughtered on the farm or sold for slaughter of livestock and poultry (in slaughter weight), tons	380 048,3	374 092,1	101,6	277 163,9	277 221,2	100,0	102 884,4	96 870,9	106,2	228 804,9	222 930,9	102,6	608 853,2	597 023,0	102,0
Cow's milk, tons	865 922,4	804 383,2	107,7	439 954,4	391 770,8	112,3	425 968,0	412 612,4	103,2	1 389 455,5	1 313 776,2	105,8	2 255 377,9	2 118 159,4	106,5
Chicken eggs, thousand pieces	2 199 851,8	2 157 046,8	102,0	2 178 800,2	2 143 881,8	101,6	21 051,6	13 165,0	159,9	410 217,0	425 496,5	96,4	2 610 068,8	2 582 543,3	101,1
The skins are large, pieces	505 809	550 587	91,9	105 007	154 593	67,9	400 802	395 994	101,2	819 694	809 937	101,2	1 325 503	1 360 524	97,4
Small skins, pieces	942 599	984 446	95,7	77 217	97 277	79,4	865 382	887 169	97,5	2 068 190	2 207 297	93,7	3 010 789	3 191 743	94,3
Number of livestock and poultry as of August 1, 2025, heads															
Cattle	4 696 141	4 678 781	100,4	884 146	871 245	101,5	3 811 995	3 807 536	100,1	4 003 463	3 996 057	100,2	8 699 604	8 674 838	100,3
from it cows	2 446 929	2 377 473	102,9	363 216	362 983	100,1	2 083 713	2 014 490	103,4	2 101 888	2 033 863	103,3	4 548 817	4 411 336	103,1
Sheep	12 593 777	13 056 228	96,5	1 406 083	1 401 858	100,3	11 187 694	11 654 370	96,0	8 504 079	8 860 857	96,0	21 097 856	21 917 085	96,3
Goats	670 127	696 805	96,2	30 187	27 690	109,0	639 940	669 115	95,6	1 225 828	1 305 718	93,9	1 895 955	2 002 523	94,7
Pigs	309 357	313 904	98,6	257 873	264 376	97,5	51 484	49 528	103,9	169 473	182 211	93,0	478 830	496 115	96,5
Horses	2 817 035	2 612 136	107,8	412 701	379 989	108,6	2 404 334	2 232 147	107,7	1 784 661	1 701 520	104,9	4 601 696	4 313 656	106,7
Camels	168 834	164 273	102,8	18 763	18 891	99,3	150 071	145 382	103,2	131 521	124 674	105,5	300 355	288 947	103,9
Bird	40 474 115	37 312 521	108,5	39 880 005	36 868 094	108,2	594 110	444 427	133,7	7 555 181	7 755 875	97,4	48 029 296	45 068 396	106,6

In January-July 2025, Kazakhstan' s livestock industry demonstrated positive dynamics: the gross physical output index was 103.2% compared to the same period last year, the volume of livestock and poultry slaughter in live weight increased by 1.4%, milk production increased by 7%, and the production of eggs increased by 0.9%. At the same time, the structure of the livestock population was distributed as follows: cattle are concentrated mainly in the population (46.3%) and farms (43.7%), sheep — in farms (52.4%) and in the population (41%), goats mainly in the population (65%), while pig and poultry farming They are mostly concentrated in agricultural enterprises (50.5% and 82.8%, respectively). Average productivity indicators show mixed trends: milk yield per cow decreased by 0.6%, and egg yield per laying hen increased

by 0.8%. These results confirm the sustainable development of the industry while maintaining its key role in ensuring the country' s food security (Table 3).

Overall, it is important to emphasize that the available data clearly demonstrates positive dynamics in the development of rural territories, indicating that their current state is gradually improving and moving toward greater stability. The role of public administration in the sustainable development of rural areas is of great importance during this transition period. The main activities of the state:

- development of mechanisms of cooperation and interaction in rural communities in order to strengthen cooperation between stakeholders;

- ensuring broad and equitable access to credit and financing in rural areas;

- implementation of a fair and transparent pricing policy that guarantees a fair distribution of profits between producers and consumers;

- implementation of an effective policy for the distribution of agricultural and food products on the national market;

- implementation of comprehensive insurance systems to protect agricultural producers from production risks;

- systematic implementation of advanced agricultural technologies;

- protect, effectively use and restore lands and natural resources; promote environmentally sound production methods;

- modernize tax systems to better coordinate with agricultural systems;

- improve the legal and institutional framework of the agro-industrial complex;

- create an integrated knowledge platform for the agricultural sector; and promote rural development through environmentally sound and socially inclusive initiatives.

The discrepancy between the pace of agricultural reproduction and the actual demand for food products within the country makes state regulation of agricultural production and the food market not only necessary but also strategically vital. The central goal of such regulation is to guarantee the sustainable growth of the agrarian sector by accounting for its specific structural features, while at the same time ensuring that the agricultural potential of Kazakhstan is used rationally and efficiently to meet the social and economic needs of society. Within this regulatory process, the interests of a wide range of actors-state institutions, agricultural and industrial producers, financial and credit organizations, trade companies, and the population of both urban and rural areas-intersect. Therefore, the key task of the state is to develop mechanisms and tools that harmonize these interests and prevent conflicts between them. The effectiveness of government regulation is reflected in the degree to which the objectives outlined in state programs and legislation are achieved.

The guiding principle of agricultural policy is the promotion of agriculture and rural development. The goal is to increase the competitiveness of agricultural products, create jobs for rural populations, conserve natural resources, and make the sector more attractive for investment. These goals serve as a guideline for administrative activities. Performance indicators include the growth of gross domestic product and high added value, investment potential, profitability of enterprises and increased labor productivity. At the same time, the analysis of the agricultural sector reveals a number of internal and external factors hindering its overall development. External challenges include increased competition from foreign markets, lower consumer demand, and increased imports. Internal constraints are related to poor governance, insufficient and often fragmented government support, barriers to market entry, and general inefficiency of institutional mechanisms. In addition, agricultural organizations themselves face numerous operational constraints: lack of working capital, inefficient management due to traditional methods, dependence on outdated and energy-intensive technologies, rising but inaccessible production costs, inflation, dependence on weather conditions, limited access to credit and affordable financing.

Conclusion. in order to overcome these problems and ensure their long-term competitiveness, agricultural producers should focus on strengthening their positions in national and international markets. This requires the adoption of modern cost-cutting strategies, the implementation of diversification strategies to increase production and the introduction of non-traditional agricultural activities such as camel farming or rice farming in areas where these sectors have not previously developed. Of particular importance is the introduction of advanced technologies, improved equipment, new plant and animal species, improved storage and processing systems, increased investment and increased productivity through reliable access to water resources. To achieve these goals, it is also necessary to switch to less water-intensive agricultural production, reduce the use of aggressive pesticides, introduce integrated pest and disease control methods, and take measures to protect soils from erosion. Special attention should be paid to supporting environmentally friendly projects, as they are an important foundation for the sustainable development of Kazakhstan' s agricultural sector and balanced socio-economic development of rural areas.

Литература

1. Лукьянчиков Н. Н., Потравный И. М. Экономика и организация природопользования/ ЮНИТИ –ДАНА. -2017. - 454 с. ISBN 978-5-238-01672-6.

2. Иволга А.Г., Чаплицкая А.А. Обоснование подхода к концепции устойчивого развития региональной экономики // Биоресурсы и природопользование. - 2014. -Т.6 (1-2). -С.151-154.

3. Родионова О.А., Борхунов Н.А., Гришкина С.Н. Сельское хозяйство и другие виды экономической деятельности: новые стереотипы // Агропромышленный комплекс: экономика, управление. -2016. -№ 4. -С. 16-23.

4. Молдашев А.Б., Никитина Г.А. Проблемы устойчивого функционирования продовольственной системы Республики Казахстан // Проблемы агрорынка. -2019. -№ 2. -С.11-19.

5. The Sustainable Development Goals. The United Nations. URL: https://www.un.org/sustainabledevelopment/. - Date of access: 01.07.2025.

6. Мерзлов А. В. Переход к устойчивому развитию сельских территорий: теория, методология и практика// М. -2006. ISBN 5-94797-090-2.

7. Антипов А. Н., Федоров В. Н. Ландшафтно-гидрологическая организация территории// Издательство Сибирского отделения РАН. - 2000.- 254 с. ISBN 5-94115-0090-1

8. Меньщикова В. И. Устойчивое развитие сельских территорий // Социально-экономические явления и процессы. -2012. - № 7-8 (041-042). -С.106-110.

9. Tasmaganbetov A.B., Abayev A.A., Rahmanova A.S., Tleukabylova K.B. Theoretical and methodological bases of assessment of sustainable development of rural areas// Bulletin of Karaganda University. Series "Economics". -2019. -№ 4 (96). -P.67-74. ISSN: 2518-1998.

10. Nakipova G., Lemechshenko O. Sustainable development of agro-industrial complex and rural areas: regional and applied aspect//Economic Series of the Bulletin of the L N Gumilyov ENU. -2023. -№.1. -P.98-107. DOI 10.32523/2079-620X-2021-1-98-107.

11. Коваленко Е. Г. Механизм устойчивого развития сельских территорий региона // Современные проблемы науки и образования. - 2012. - № 2.

12. Хамбар Б., Утебаева А.Б., Гафятуллина Д.Ф. Внедрение принципа бюджетирования Целей устойчивого развития ООН в Казахстане // Қазақ экономика, қаржы және халықаралық сауда университетінің жаршысы. -2022.-№ 3(48). -С.56-62. DOI 10.52260/2304-7216.2022.3(48).7.

13. Soltangazinov A.R., Adieva A.A. The ways of sustainable development of supporting rural areas // Bulletin of The Innovative University of Eurasia. - 2023. - № 2 (90). - P.60-67. DOI https://doi.org/10.37788/2023-2/60-67.

14. Dorosh Yu., Barvinskyi A., Kupriyanchik I., Kravchenko O., Saliuta V. Optimization of the agricultural land structureas the basis of sustainable development of rural areas // Zemleustrìj, kadastr ì monìtorìng zemel′. - 2019.- Vol.25(4). - P.4-13. DOI 10.31548/zemleustriy2019.04.01.

15. Официальный интернет-источник Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. URL: https://stat.gov.kz/en/.- Дата обращения: 01.07.2025.

References

1. Luk’ janchikov N. N., Potravnyj I. M. Jekonomika i organizacija prirodopol’ zovanija/ JuNITI –DANA. -2017. - 454 s. ISBN 978-5-238-01672-6. [in Russian]

2. Ivolga A.G., Chaplickaja A.A. Obosnovanie podhoda k koncepcii ustojchivogo razvitija regional’ noj jekonomiki // Bioresursy i prirodopol’ zovanie. - 2014. -T.6 (1-2). -S.151-154. [in Russian]

3. Rodionova O.A., Borhunov N.A., Grishkina S.N. Sel’ skoe hozjajstvo i drugie vidy jekonomicheskoj dejatel’ nosti: novye stereotipy // Agropromyshlennyj kompleks: jekonomika, upravlenie. - 2016. -№ 4. -S.16-23. [in Russian]

4. Moldashev A.B., Nikitina G.A. Problemy ustojchivogo funkcionirovanija prodovol’ stvennoj sistemy Respubliki Kazahstan // Problemy agrorynka. -2019. -№ 2. -C.11-19. [in Russian]

5. The Sustainable Development Goals. The United Nations. URL: https://www.un.org/sustainabledevelopment/. - Data obrashhenija: 01.07.2025.

6. Merzlov A. V. Perehod k ustojchivomu razvitiju sel’ skih territorij: teorija, metodologija i praktika// M. -2006. ISBN 5-94797-090-2. [in Russian]

7. Antipov A. N., Fedorov V. N. Landshaftno-gidrologicheskaja organizacija territorii// Izdatel’ stvo Sibirskogo otdelenija RAN. - 2000.- 254 c. ISBN 5-94115-0090-1. [in Russian]

8. Men’ shhikova V. I. Ustojchivoe razvitie sel’ skih territorij // Social’ no-jekonomicheskie javlenija i processy. -2012. - № 7-8 (041-042). -S.106-110. [in Russian]

9. Tasmaganbetov A.B., Abayev A.A., Rahmanova A.S., Tleukabylova K.B. Theoretical and methodological bases of assessment of sustainable development of rural areas// Bulletin of Karaganda University. Series ”Economics”. -2019. -№ 4 (96). -P.67-74. ISSN: 2518-1998.

10. Nakipova G., Lemechshenko O. Sustainable development of agro-industrial complex and rural areas: regional and applied aspect//Economic Series of the Bulletin of the L N Gumilyov ENU. -2023. -№.1. -P.98-107. DOI 10.32523/2079-620X-2021-1-98-107.

11. Kovalenko E. G. Mehanizm ustojchivogo razvitija sel’ skih territorij regiona // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. - 2012. - № 2. [in Russian]

12. Hambar B., Utebaeva A.B., Gafjatullina D.F. Vnedrenie principa bjudzhetirovanija Celej ustojchivogo razvitija OON v Kazahstane // Қazaқ jekonomika, қarzhy zhəne halyқaralyқ sauda universitetinің zharshysy. -2022.-№ 3(48). -S.56-62. DOI 10.52260/2304-7216.2022.3(48).7. [in Russian]

13. Soltangazinov A.R., Adieva A.A. The ways of sustainable development of supporting rural areas // Bulletin of The Innovative University of Eurasia. - 2023. - № 2 (90). - P.60-67. DOI https://doi.org/10.37788/2023-2/60-67.

14. Dorosh Yu., Barvinskyi A., Kupriyanchik I., Kravchenko O., Saliuta V. Optimization of the agricultural land structureas the basis of sustainable development of rural areas // Zemleustrìj, kadastr ì monìtorìng zemel′. - 2019.- Vol.25(4). - P.4-13. DOI 10.31548/zemleustriy2019.04.01.

15. Oficial’ nyj internet-istochnik Bjuro nacional’ noj statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniju i reformam Respubliki Kazahstan. URL: https://stat.gov.kz/en/.- Data obrashhenija: 01.07.2025. [in Russian]

Information about the authors

Bulkhairova Zh.S. - PhD, associate professor, Director of Strategy and corporate development, Kazakh National University of Sports, Astana, Kazakhstan, e-mail: honeyzhu@mail.ru;

Yerniyazova Zh. - candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan; e-mail: bolat39@mail.ru;

Aidosova B. - senior lecturer at the Department of the «Finance, accounting and audit», candidate of economic sciences, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: aidos65.65@mail.ru;

Makenova A. - candidate of Economic Sciences, Senior Lecturer of the OP ”Finance”, Accounting and Audit Department, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: Aigul.m. a@mail.ru;

Mashayeva A. - doctoral student PhD in educational program 8D04121 - ”State audit”, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: ayagoz_mashaeva@mail.ru;

Ospanova G. – Master of Statistics, Senior Lecturer at the Department of ”Finance, Accounting and Auditing”, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: Gulpat73@mail.ru.

Сведения об авторах

Булхаирова Ж.С. - доктор PhD, ассоциированный профессор, Директор стратегии и корпоративного развития, Казахский Национальный университет спорта, Астана, Казахстан, e-mail: honeyzhu@mail.ru;

Ерниязова Ж.Н. - кандидат экономических наук, старший преподаватель ОП Экономика и управление, Кызылординский университет им. Коркыт Ата, , Кызылорда, Казахстан, email: bolat39@mail.ru;

Айдосова Б. – старший преподаватель кафедры «Финансы, бухгалтерский учет и аудит», кандидат экономических наук, Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан, e-mail: aidos65.65@mail.ru;

Макенова А. - кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры ”Финансы”, бухгалтерский учет и аудит, Кызылординский университет им. Коркыт Ата, e-mail: Aigul.m.a@mail.ru;

Машаева А. - докторант PhD по образовательной программе 8D04121 – ”Государственный аудит”, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: ayagoz_mashaeva@mail.ru;

Оспанова Г. - магистр статистики, старший преподаватель кафедры ”Финансы, бухгалтерский учет и аудит”, Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан, e-mail: Gulpat73@mail.ru.

IRSTI 06.71.57 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1147**

DIGITAL EVOLUTION OF TOURISM: PERSONALIZATION OF SERVICES AS A COMPETITIVE FACTOR

[1]A.S. Omarova, [1]Z.N. Borbasova, [1]S.N. Ulakov, [2]N.G. Fonova
[1]Karaganda University of Kazpotrebsoyuz, Karaganda, Kazakhstan
[2]Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia
Corresponding author: aiganym128@mail.ru

The introduction of digital technologies in the tourism sector is developing rapidly, representing a key driver in its development strategy, which, in turn, contributes to the development of the domestic online services market. The subject of the article is the study of the impact of the digital transformation of the tourism sector on the operational efficiency and quality of tourist customer service.

The purpose of the work is to study the role of digital technologies in improving the services provided and the quality of services in the tourism sector of the economy.

The features of the digital transformation of technological processes that unite the subjects of the tourist market are analyzed. The paper describes the use of digital tools that increase the efficiency of various processes in tourism. The article analyzes Kazakhstani and foreign scientific research on the issue of introducing digital technologies in the field of tourism and hospitality. The dominant innovative changes taking place in the business processes of enterprises of the tourism and hotel industry in connection with digitalization are revealed.

The proposed measures, such as the creation of a unified tourism platform and the use of intelligent technologies in transport, hospitality and leisure and catering, are aimed at improving the infrastructure of the industry and increasing overall tourist satisfaction. For the development of tourism in Kazakhstan at the regional level, it is necessary to develop tourism products for their implementation in a new digital environment, revealing the potential and capabilities of each destination.

Keywords: digital tourism ecosystem, tourism of Kazakhstan, digital platform, tourism business, innovative solutions, information system.

ТУРИЗМНІҢ ЦИФРЛЫҚ ЭВОЛЮЦИЯСЫ: ҚЫЗМЕТТЕРДІ ЖЕКЕЛЕНДІРУ - БӘСЕКЕГЕ ҚАБІЛЕТТІЛІК ФАКТОРЫ РЕТІНДЕ

[1]А.С. Омаров, [1]З.Н. Борбасова, [1]С.Н. Улаков, [2]Н.Г. Фонова
[1]Қазтұтынуодағы Қарағанды университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Ресейдің тұңғыш Президенті Б.Н. Ельцин атындағы Урал федералдық университеті, Екатеринбург, Ресей
e-mail: aiganym128@mail.ru

Туризм саласында цифрлық технологиялардың енгізілуі қарқынды дамып келеді және бұл саладағы даму стратегиясының негізгі қозғаушы күшіне айналуда. Бұл өз кезегінде отандық онлайн қызметтер нарығының дамуына ықпал етеді. Мақалада туризм секторының цифрлық трансформациясының операциялық тиімділік пен туристік қызмет көрсету сапасына әсері қарастырылады.

Жұмыстың мақсаты - экономикадағы туризм саласында көрсетілетін қызметтер мен олардың сапасын жақсартудағы цифрлық технологиялардың рөлін зерделеу.
Туристік нарық субъектілерін біріктіретін технологиялық үдерістердің цифрлық трансформациясының ерекшеліктері талданады. Туризмдегі түрлі үдерістердің тиімділігін арттыратын цифрлық құралдарды қолдану сипатталады. Мақалада туризм және қонақжайлылық саласына цифрлық технологияларды енгізу мәселесі бойынша қазақстандық және шетелдік ғылыми зерттеулер талданады. Цифрландыруға байланысты туризм және қонақ үй бизнесі кәсіпорындарындағы іскерлік үдерістерде орын алып жатқан негізгі инновациялық өзгерістер ашып көрсетіледі.

Біртұтас туристік платформаны құру, сондай-ақ көлік, қонақ үй, демалыс және қоғамдық тамақтану салаларында интеллектуалды технологияларды пайдалану сияқты ұсынылып отырған шаралар салалық инфрақұрылымды жақсартуға және туристердің жалпы қанағаттануын арттыруға бағытталған. Қазақстанда туризмді өңірлік деңгейде дамыту үшін әрбір дестинацияның әлеуеті мен мүмкіндіктерін ашатын жаңа цифрлық ортада іске асырылатын туристік өнімдерді әзірлеу қажет.

Түйін сөздер: цифрлық туризм экожүйесі, Қазақстан туризмі, цифрлық платформа, туризм бизнесі, инновациялық шешімдер, ақпараттық жүйе.

ЦИФРОВАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ТУРИЗМА: ПЕРСОНАЛИЗАЦИЯ УСЛУГ КАК ФАКТОР КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ

[1]А.С. Омарова✉, [1]З.Н. Борбасова, [1]С.Н. Улаков, [2]Н.Г. Фонова

[1]Карагандинский университет Казпотребсоюза, Караганда, Казахстан,
[2]Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
e-mail: aiganym128@mail.ru

Внедрение цифровых технологий в туристическую сферу стремительно развивается и становится ключевым фактором стратегии её роста, способствуя развитию внутреннего рынка онлайн-услуг. Предметом статьи является исследование влияния цифровой трансформации туристического сектора на операционную эффективность и качество обслуживания туристов.

Цель работы – изучить роль цифровых технологий в повышении качества и уровня предоставляемых услуг в туристической отрасли. Проанализированы особенности цифровой трансформации технологических процессов, объединяющих участников туристического рынка. В работе рассмотрено применение цифровых инструментов, способствующих повышению эффективности различных процессов в туризме. Также проводится анализ казахстанских и зарубежных научных исследований по вопросам внедрения цифровых решений в туризме и индустрии гостеприимства. Выявлены ключевые инновационные изменения в бизнес-процессах предприятий туризма и гостиничного сектора, происходящие в условиях цифровизации.

Предложенные меры, такие как создание единой туристской платформы и использование интеллектуальных технологий в транспорте, сфере гостеприимства, досуга и общественного питания, направлены на совершенствование инфраструктуры и повышение уровня удовлетворенности туристов. Для развития туризма на региональном уровне в Казахстане необходимо разрабатывать туристские продукты, адаптированные к новым условиям цифровой среды, с учетом потенциала каждой дестинации.

Ключевые слова: цифровая экосистема туризма, туризм Казахстана, цифровая платформа, туристический бизнес, инновационные решения, информационная система.

Introduction. The impact of technology on the tourism industry is important in today's rapidly changing environment. As digitalization becomes more widespread, the number of traditional travel agencies is decreasing, and the number of online travel agencies (OTA) is increasing. This change not only affects economic relations within the industry, but also highlights the need to adapt to technological advances in order to remain competitive. In addition, the rapid development of technology, including mobile apps, websites and social media, is changing the way consumers interact with travel services and make travel decisions. It is extremely important for enterprises to actively implement information technology (IT) to improve the quality of service and meet the changing expectations of consumers.

The main types of digital transformation that are actively used today in the tourism market of the Republic of Kazakhstan:

1. Online booking;

2. Mobile applications;

3. Big Data Analytics;

4. Artificial intelligence and chatbots;

5. Customer Relationship Management (CRM) Systems;

6. Blockchain technologies;

7. Internet of Things (IoT);

8. Virtual and Augmented Reality (VR/AR).

Research aimed at understanding the impact of technology on the tourism industry and offering new solutions is needed to inform practice and bring positive changes to the sector. These changes not only affect economic relations within the industry, but also highlight the need to adapt to technological advances in order to remain competitive. In this study, our goal was to show how the integration of digital solutions into the management of travel services can significantly improve the quality and efficiency of services provided. It is aimed at understanding the impact of digital transformation on the tourism industry and offering new solutions necessary to inform practice and make positive changes in the tourism industry of Kazakhstan.

Literature review. In recent years, open sources have provided sufficient data on the results of targeted studies of digital transformation in the tourism industry by both foreign and Kazakhstani researchers.

The McKinsey report ”The Future of Tourism” (2024) outlines how the development of digital technologies has led to new ways to increase customer satisfaction and optimize travel services [1].

The Travelport Digital Traveler Survey (2019) highlights the role of mobile apps in travel. The study shows that travelers are increasingly relying on mobile apps to book, communicate and receive real-time updates, making them essential tools for improving the quality of service in the travel industry. This trend is especially noticeable in emerging markets such as Kazakhstan, where mobile applications have become an integral part for both tourists and businesses [2]. The data provided by Statista (2023) also reflects the growing trend in the use of mobile applications and digital platforms in the tourism sector. This digital shift in consumer behavior is also observed in Kazakhstan, where the number of downloaded travel and tourism applications has increased dramatically, which indicates the importance of mobile solutions in the tourism market [3].

The study by A. Abuev, analyst at Freedom Finance Global, on tourism in Kazakhstan contains a comprehensive analysis of the problems and opportunities of the industry (2024) [4]. In addition, the ”Concept for the development of the tourism sector of Kazakhstan for 2023-2029” emphasizes the government’ s commitment to stimulating innovation and improving the ecosystem of digital tourism [5].

In their works on the ecosystem of digital tourism in Kazakhstan, D.G.Mamraeva and L.V.Tashenova, Borbasova Z.N., Grebenyuk D.D. explore how innovative digital solutions increase business efficiency in the sector. This, in turn, gave them the opportunity, based on existing digital solutions in the tourism market of Kazakhstan, to present its unified digital ecosystem. The authors also provide examples of implemented ”smart technologies” in tourism in Kazakhstan [6].

It is shown how the introduction of digital tools, such as contactless payment systems and online booking platforms, transforms the operational side of travel services [7]. Their research points to the success of platforms such as eQonaq, which registered a significant number of tourists in 2023-2024, demonstrating a growing dependence on digital infrastructure to manage tourist flows [8].

Kazakhstan’ s civil aviation sector is also benefiting from the transition to digital technologies. Kalekeeva M. et al. (2024) based on data from the Civil Aviation Committee, they indicate an increase in passenger traffic at airports in the period from 2019 to 2023, which once again emphasizes the role of digital platforms in managing large flows of tourists and improving the quality of service at key transit points [9].

In conclusion, it should be noted that, judging by

the volume and intensity of publication in various sources, the integration of digital solutions into the management of tourist services has significantly improved the quality and efficiency of the services provided. The future of tourism in the digital economy, as noted in most of them, is likely to continue to be determined by these technological advances, which will further improve the quality of services provided and the economic growth of the industry.

Materials and Methods. The accepted research method consists of analyzing quantitative and qualitative market data, as well as observing the main actual trends in a comparative perspective.

The following methods were used in the course of the study: monographic, economic and statistical, analytical, comparative. The article uses general scientific methods, in particular the method of content analysis, which allowed analyzing an array of information from theoretical approaches to digitalization and digital technologies in tourism to digital platforms and specialized programs for the development of tourist routes, as well as the method of graphical interpretation. The article clearly presents examples and directions of the use of digital technologies in the tourism industry, in particular BigData, AR/VR, Blockchain, IoT, portals for the development of tourist routes, mobile applications. Further, it analyzes how the tourism sector has changed under the influence of digitalization, highlights the main trends, concludes about the difficulties and directions of digitalization, highlights promising digital technologies of the tourism business, and summarizes the main ideas of the study.

Results and Discussions. The tourism sector is, first of all, one of the fastest growing industries in the world. The development of technology encourages travel destinations and the hospitality industry to optimize business development decisions and improve the quality of travel services. It is so widespread that, according to a Google Travel study, 74% of vacationers plan their trips using the Internet, while only 13% still use travel services to organize them [6]. Thanks to the use of mobile applications, contactless payment systems and data-based analytical information, the tourism sector is better adapted to meet the changing needs of modern travelers, which is evident both from global trends and from the specifics of Kazakhstan. Technology has helped to reduce costs, improve operational efficiency, and improve customer offerings and understanding. Thanks to this, both travelers and businessmen can benefit from advanced communication, booking and visitor service systems.

The operational effectiveness of digitalization processes in tourism can be highlighted through several key aspects:

1. Automation of processes:

- cost reduction: automation of routine tasks such as booking and inventory management, etc.;

- fcceleration of processing: fast processing of requests and payments.

2. Supply chain optimization:

- system integration: using digital platforms to integrate various service providers (hotels, airlines, etc.);

- inventory management: optimal resource management.

3. Data analysis and business intelligence:

- informed decision-making: using analytics to assess consumer behavior and market trends;

- increased flexibility: quick access to data.

4. Personalization of services:

- increase customer loyalty;

- marketing optimization: improving the effectiveness of marketing campaigns.

5. Customer Relationship Management (CRM) systems:

- improved interaction: made it possible to effectively manage customer contacts and track their preferences;

- reduced staff turnover.

6. Mobile technologies:

- accessibility of information: Mobile applications provide information to customers (anytime, anywhere);

- increased sales: convenience of mobile booking.

7. Innovations and new technologies:

- adaptation to the market: introduction of new technologies (for example, artificial intelligence, blockchain);

- risk reduction: the use of technologies to monitor and manage risks (for example, related to data security).

The next technology is apps, especially mobile travel apps, which have made booking and other travel-related tasks much easier by changing the way people plan and receive their travel experiences. Tourists rely on mobile apps to address issues such as language barriers, cultural differences, and isolation while traveling. Considering that in 2019, more than one billion users of mobile travel applications, approximately 1.5 billion people traveled and about 65% of them used smartphones to book, the impact of these applications on tourism is undeniable [8].

More than 60% of users use mobile travel apps when planning their trips, which makes it easier and more convenient. Between 2023 and 2024, the most downloaded travel apps in the world, based on the cumulative number of downloads (in millions) on the part of Statista, they demonstrate the diverse needs of travelers around the world. So, Google Maps is in the lead with 113 million downloads, followed by Uber with 107, Booking.com With 80, Airbnb with 52 million downloads, followed by Google Earth and Where is My Train reaching 51 and 46 million downloads respectively. The figures reflect the widespread use of travel applications in various aspects of travel, from navigation to accommodation and transportation (Figure 1).

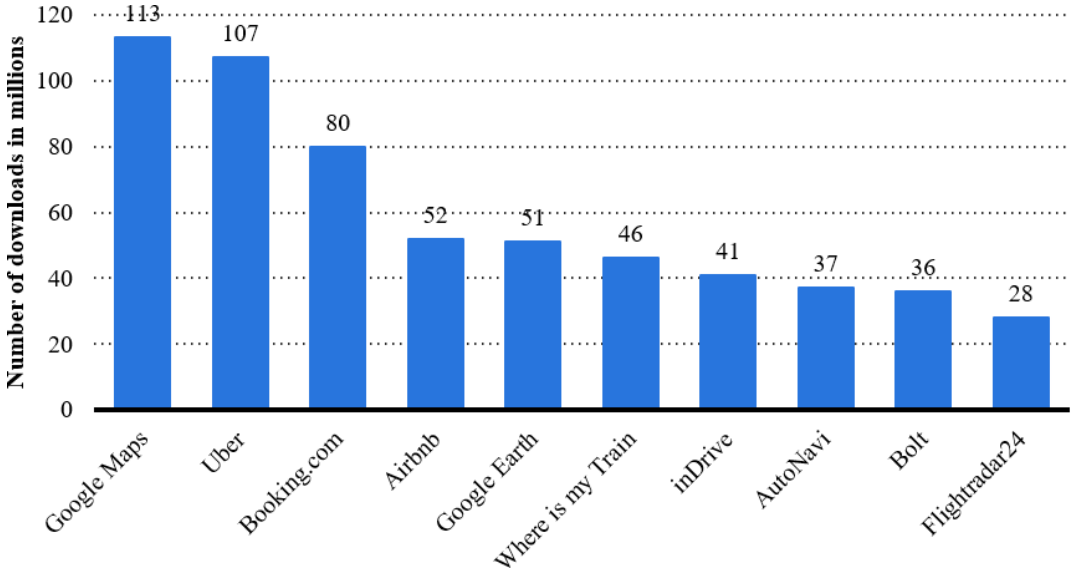


Fig.1 - The most downloaded travel apps in the world in 2023-2024, by total number of downloads (in millions)

Note: Complied by the authors based on the official website of the Statista [3]

In terms of market share in both the US and Europe, Uber retained a significant market share in 2023: 10% in the USA and 18% in Europe. Booking.com It dominates the US market with a market share of 7% and 14% in Europe, demonstrating its popularity as a housing booking platform. In addition, Airbnb has a significant market share in both regions: 6% in the United States and 7% in Europe. Other notable players include Vrbo and Expedia in the United States, as well as Bolt and Ryanair in Europe, each contributing to the comprehensive travel industry (Figure 2).

In the digital age, artificial intelligence (AI) has begun to have a huge impact on all industries, including, especially, tourism. AI has significantly changed the approaches to travel planning and organization around the world: from personalizing travel to improving the management of tourist destinations and optimizing customer service using advanced technologies such as chatbots and recommendation systems. Artificial intelligence algorithms allow you to analyze huge amounts of data - from Internet searches and social media interactions, taking into account previous travel options, to provide personalized recommendations on places, events, hotels and restaurants that match the interests and budget of the tourist.

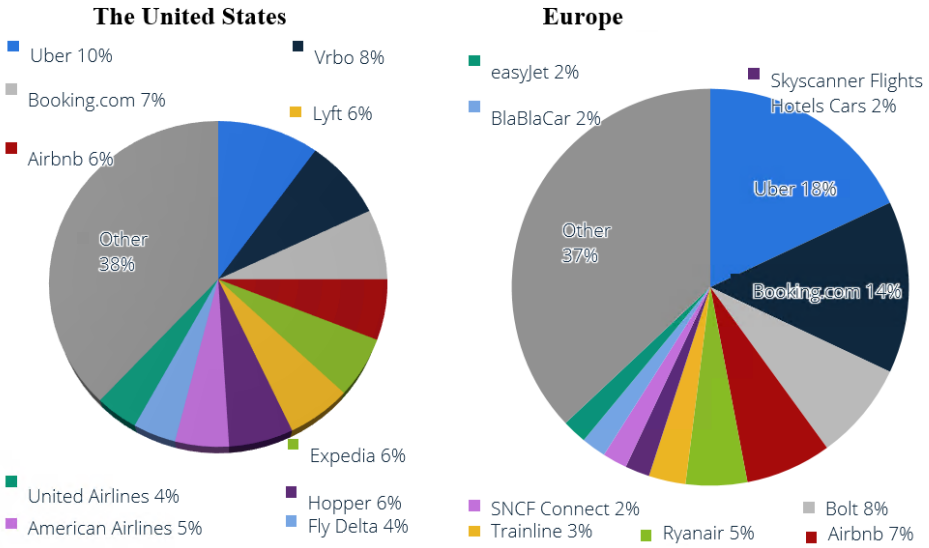


Fig.2 - Market share of the leading travel apps in the USA and Europe in 2023

Note: Complied by the authors based on the official website of the Statista [3]

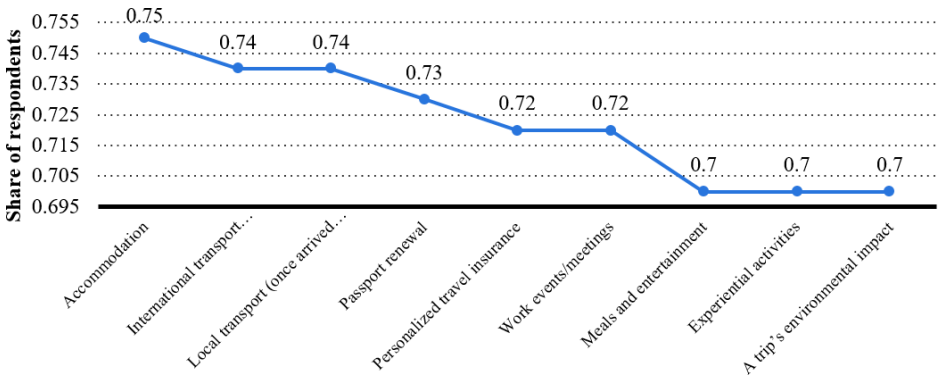


Fig.3 - Share of travelers that would trust using Artificial Intelligence (AI) to plan travel in 2033 worldwide as of 2022, by travel aspect

Note: Complied by the authors based on the official website of the Statista [3]

Data as of 2023 indicate a high level of confidence among travelers around the world in using AI for various aspects of travel planning in 2033. The first place in the list is occupied by the placement: 75% of travelers expressed confidence in AI in this aspect, followed by international transport agreements and local transport (74% each). Other aspects, as can be seen from Figure 4,

are also highly trusted by travelers (Figure 3).

As technology evolves, we can expect AI to play an increasingly important role in the growth and change of tourism around the world, changing how customers perceive and interact with the world while traveling.

Returning to the expectations of the future use of technology in the tourism industry, the following is an analysis of the data obtained from statista.com , regarding the proportion of travelers who plan to use selected travel planning tools in 2033 worldwide as of 2022. It is assumed that among these tools, applications that include all the necessary functions for travel planning will be most often used (52% of travelers express their intention to use them) (Figure 4).

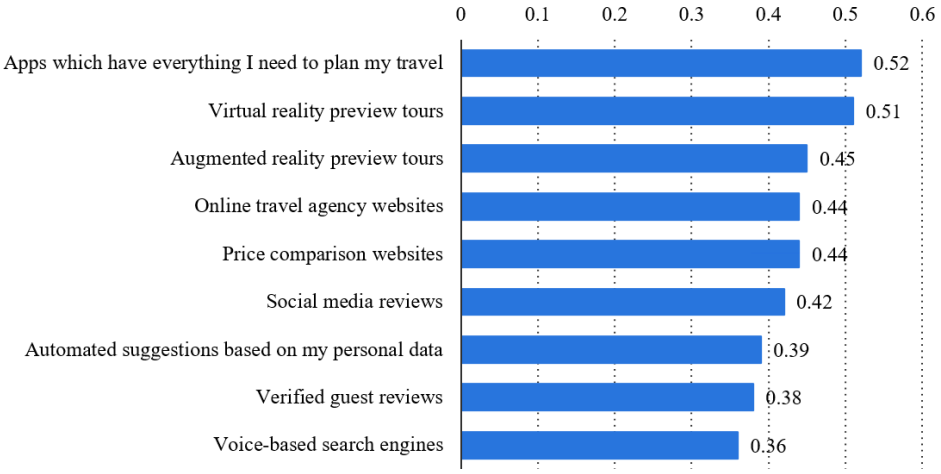


Fig.4 -The proportion of travelers planning to use selected travel planning tools in 2033 worldwide as of 2022

Note: Complied by the authors based on the official website of the Statista [3]

Figure 4 above shows that pre-virtual reality (VR) and augmented reality (AR) tours will also start to attract attention: 51% and 45% of travelers, respectively, expressed their desire to use their immersive trip planning technologies, giving them a realistic view of the trip and helping them make decisions.

Online travel agencies (OTA) and price comparison websites are expected to remain popular planning tools in 2033: 44% of tourists plan to use them to prepare for a trip. Social media reviews are expected to influence travel planning decisions: 42% of travelers expect to rely on them when planning a trip. To summarize, an analysis of the current use of technology in the tourism industry reveals a variety of planning tools and platforms that adapt to the changing needs and preferences of travelers. These technologies help to personalize travel experiences, optimize booking processes and provide valuable information and recommendations.

Facebook Instagramming the role of social media as another aspect of technological advances in the tourism industry in the Republic of Kazakhstan and their impact, various platforms such as Facebook, Instagram and YouTube have begun to play an important role in shaping the perception and choice of travelers. Blogs in both text and video formats are becoming increasingly interesting [8]. Significant problems have been identified that negatively affect the development of tourism. Such factors include: fraud, distortion of reality, the credibility of the opinion of media personalities, uneven coverage of age groups of tourists.

Personal impressions of tourists play a significant role in choosing a vacation destination: reviews, photos and other content generated on the Internet (Table 1). When preparing for a trip, most respondents pay attention to social networks

(53.8%) and reviews from relatives, friends and acquaintances (48.6%). Reviews on the Internet are viewed by 35.5% of respondents, and the websites of tour operators are viewed by 22.1% [10]. It is possible to highlight the high popularity of social networks among respondents aged 25 to 34 years (62.4%). Respondents over the age of 35 are much more likely than others to rely on feedback from relatives, friends and acquaintances (35-55 years old – 56.7%, over 55 years old – 70.8%). Young people mentioned the tourist portals of local authorities much more often than others (22.4%) (Table 1).

Table 1 - Factors that play a significant role in decision-making among travelers aged 18-55 years and older in the Republic of Kazakhstan

Factors influencing decision-making among travelers	Total	18-24 years old	25-34 years old	35-54 years old	55 years and more
Social networks (Instagram, Tik tok, Vkontakte, etc.)	53,8	46,6	62,4	51,1	56,3
Reviews from relatives, friends and acquaintances	48,6	29,3	39,7	56,7	70,8
Reviews on the Internet, including in specialized applications (for example, 2GIS)	35,5	33,6	29,4	38,8	39,6
Tour operator websites	22,1	14,7	20,6	25,4	20,8
Tourist portals of local authorities	14,7	22,4	16,5	12,3	6,3
Personal communication with travel agency managers	9,9	11,2	9,8	9,5	10,4
Specialized groups and channels in the messenger (WhatsApp, Telegram, Viber, etc.)	9,2	9,5	4,6	10,3	18,8
TV programs	6,4	7,8	5,2	7	4,2
Promotional products (banners, booklets, flyers)	5,4	11,2	5,2	3,9	4,2
Magazines, brochures	3,4	5,2	3,1	3,4	0
Bloggers	7,4	10,3	11,9	4,5	4,2
Other	0,4	0	1	0,3	0
Note: Compiled by the authors based on the source of Kalekeeva M. [9]					

The transition to the use of mobile applications and the analysis of popular types of travel applications in Kazakhstan provides valuable information about the role of technology in the development of tourism in the country [3]. In Kazakhstan, as in many other countries, these applications offer a wide range of functions, including booking tours and tickets, navigation, currency conversion and access to information about destinations in real time. Tourists can conveniently book flights, accommodation, transportation and events using a single application, eliminating the need to use multiple platforms or visit physical travel agencies, saving time and energy [Tashenova L.V. et al., 2022]. The transition to digitalization in the tourism sector also has significant environmental benefits, as it reduces dependence on paper processes and documentation.

The analysis of the most downloaded travel

applications in Kazakhstan provides important data on the preferences and practices of travelers in the country [3]. Applications such as Yandex Navigator, Aviata.kz and Booking.com They are among the most popular options for travelers, offering a wide range of services from navigation and booking tickets to booking accommodation. By adopting digital technologies and using the capabilities of mobile technologies, Kazakhstan can strengthen its position as a leading tourist destination and stimulate economic growth in the country (Table 2).

Table 2 - Most downloaded travel and tourism apps in the Republic of Kazakhstan

	Google Play Store	App Store
1	Yandex Navigator	Yandex Go: Taxi Food Delivery
2	Aviata.kz – cheap air tickets	inDrive. Save on city rides
3	Aviata – train tickets	ONAY!
4	GPS Offline Maps Navigation	Uber KZ – request taxis
5	Currency converter offline	Avtobys
6	Easy route map: Navigation Path	Skyscanner – travel deals
7	Google Earth	Booking.com: Hotels Travel
8	Ht.kz - tours and last minute tours	Aviasales – book cheap flights
9	Aviasales.kz – cheap air tickets	Uber – request a ride
10	Kaztour.kz – Tours and Travel	Aviata.kz – cheap air tickets
11	Booking.com – Hotels Travel	Currency converter offline
12	Skyscanner Flights Hotels Cars	Google Earth
13	TezTaxi: order your taxi	aiRalo: eSIM Travel Internet
14	RegionApp	Aviata – train tickets
15	Fly Arystan: buy flight tickets	Air Astana
Note: Complied by the authors based on data from Google Play, App Store, and SimilarWeb analytics (Kazakhstan, 2025) [11]		

It is noteworthy to emphasize the importance of e-commerce in Kazakhstan and its significant role in the country' s tourism sector. E-commerce, conducting business transactions electronically via the Internet, has changed the way travel services are accessed and provided.

Statistics show that a significant part of the services provided through the market in Kazakhstan, about 50.3%, relate to passenger transportation services. This indicates a strong dependence on online platforms for booking flights, trains and other modes of transport. With the advent of e-commerce, customers no longer need to visit physical offices or travel agents to make a reservation. Moreover, 9.6% of services include tickets and seat reservations on transport, which once again highlights the role of e-commerce in facilitating travel arrangements. E-commerce has also made it easier to book and pay for accommodation services, accounting for 1.6% of services provided through a trading platform in Kazakhstan. This means the importance of online platforms allowing travelers to book accommodation, from hotels to vacation rentals, with ease and convenience. By offering a convenient booking and payment process, e-

commerce has contributed to improving the overall quality of travel for tourists visiting Kazakhstan [12].

Initiatives aimed at improving the technological infrastructure of the tourism sector are growing in modern Kazakhstan. ”Tourism Online” includes a description of tourism projects implemented in Kazakhstan (urban tourism development, caravanning, information tours, etc.), as well as an interactive map of routes and attractions in the regions of the country. An interesting innovative solution within the framework of this module was the opening of the ”Online Academy of Domestic Tourism” [3].

The Golden Horde project, which includes information and a map about the main milestones and the territory of the Golden Horde, a calendar of events, as well as the ability to choose a guide in the region to receive high-quality sightseeing services.

The Photobank project: a Kazakhstani photo stock of the regions and attractions of Kazakhstan; photos are available for download, but with a mandatory link to the Kazakhstan Travel portal [4].

Digital technologies are being introduced into the hotel business with some lag, compared with industries such as finance and industry. However, interest in the use of digital technologies in the activities of hotel chains is very high, due to the initial customer orientation of hotel companies. Digital tools allow you to ”hear” the client, make him the center of activity of hotel chains [12].

Progress in the field of digital technologies provides companies with the opportunity to use new resources, sales channels and tools, without which the set goals will not be achieved. But the process of integrating digital technologies into the operations of hotel companies is becoming increasingly difficult, requiring significant financial resources and qualified specialists. Leading hotel TNCs are implementing an ambitious digital transformation aimed at bringing the customer back to the center of their strategy and operations.

The digital tourism ecosystem of Kazakhstan presented above, its modules and components are an innovative solution for the tourism business of the country, individual regions, tourist destinations and all market participants.

The intuitive interface of Google Maps makes it easier for guides to accurately determine the location of visitors. Guides keep travelers informed of their location, especially when they venture beyond the 500-meter border from them. This particular attribute serves to mitigate any potential ambiguity regarding the tour schedule.

Thus, the most downloaded mobile travel apps in the world reflect consumers’ preferences for uninterrupted on-demand services. The increased use of applications has contributed to the improvement of the quality and accessibility of services, which has further improved the user experience.

Conclusion. The creation of a developed tourism sector is of great importance as a key strategy for the structural transformation of the economy of the Republic of Kazakhstan. This paper examines the impact of technological improvements on the tourism business in Kazakhstan, analyzes both the consequences and the growing difficulties in this sector.

Strategic proposals for improvised technological use in the industry have highlighted the importance of fully integrating digital technologies into all elements of tourism and hospitality. Kazakhstan should give priority to the rapid introduction of innovative products and technologies in order to ensure a strong presence in the global tourism business in a highly competitive environment. It is strongly recommended to introduce new types of logistics using IT technologies into the tourism industry. This includes the introduction of computer technologies into hotel and airline reservation systems, the use of innovative technologies to ensure tourist routes, ensure mobility and safety of transport services. Technology has come to enhance the traveler’ s experience and facilitate many steps that in previous years could have become difficult or tedious. This also makes the tourism industry a promising option with high growth expectations, which makes it attractive to investors who have noticed the interesting evolution of this industry.

The digital transformation of the tourism sector includes various types of technologies and approaches that affect operational efficiency and customer service quality. They cover a variety of processes that significantly change the way we interact with customers and manage resources in the tourism sector:

1. Online booking and sale of services - Convenience for customers:

- online platforms allow users to quickly find and book hotels, flights and excursions;

- automation of processes helps to reduce manual work in processing bookings, reduces the likelihood of errors and speeds up the process;

- consumers can easily compare offers, the ability to compare prices increases competition and improves the quality of services.

2. Marketing and advertising:

- social networks allow you to actively promote relevant information through them, which attracts an audience and builds brand loyalty;

- targeted advertising makes it possible to use user data to create personalized offers. Mobile applications provide users with information about available services, routes and offers in real time;

- marketing optimization and targeted advertising based on big data analysis increases the likelihood of conversion and reduces marketing costs.

3. Customer Relationship Management (CRM):

- data analysis suggests improved customer interaction. CRM systems help to collect and analyze customer information, which allows you to offer more personalized services. The ability to offer customized services based on customer preferences increases the operational efficiency of the company;

- increasing loyalty - leads to effective management of contacts and feedback, which helps strengthen relationships with customers and increases their loyalty.

4. Payment processing:

- digital payments offer a high level of security and convenience;

- the use of blockchain technology for payment processing provides a high degree of security and transparency, which is especially important for customers. International transactions simplify the payment process for customers from different countries;

- blockchain technology can not only simplify, but also automate the booking and insurance processes, reducing costs and increasing customer trust.

5. Inventory management:

- automation of the inventory management system allows you to effectively control the availability of services and minimize costs;

- improved analytics and use of data for demand forecasting;

- big data analytics serves as the basis for demand forecasting and price optimization. Analyzing consumer behavior data helps predict seasonal fluctuations and adapt supply, improving operational efficiency.

6. Feedback and customer feedback:

- creating a feedback system on the platform to collect and analyze them helps to improve the quality of services;

- improvement of reputation management. Online reputation management becomes more effective by monitoring reviews.

7. Digital guides and mobile applications:

- the interactivity of the Application with information about tourist routes, restaurants and attractions increases the interest in travel;

- artificial intelligence and chatbots automate customer support. They can quickly respond to customer requests 24/7, which improves the quality of service and reduces the burden on staff;

- aI algorithms can analyze customer preferences and offer them personalized recommendations and related services, increasing the likelihood of purchases;

- localization: the ability to receive information in your native language and at a convenient time.

8. Analytics and reporting:

- business analytics: collecting and analyzing data about the market, trends and customer behavior allows you to make informed decisions;

- process optimization: identify bottlenecks and areas for improvement based on data.

9. Travel planning:

- creates the possibility of combining and integrating various services in one platform;

- virtual and augmented reality (VR/AR technologies) allow users to ”view” places and services in advance, i.e. conduct interactive tours, which may affect their booking decision. These technologies can enhance the ”customer experience” of users and improve their engagement, creating unique experiences, and become a tool for creating individualized routes based on customer preferences.

Digitalization of the tourism sector not only improves the customer experience, but also contributes to business efficiency, reducing costs and increasing profits. The integration of technology into the tourism business of the republic can significantly stimulate growth and promote innovation. The results highlight the importance of continuous technological improvement in order to keep up with global trends and meet the growing expectations of modern visitors. Considering that digital transformation includes various types of technologies and approaches that affect operational efficiency and customer service quality, an attempt has been made to present in an orderly manner those processes that have significantly changed the way customers interact and manage resources in the tourism sector.

Kazakhstan can use digital transformation to ensure a sustainable future for its tourism industry by implementing strategic planning and continuous adaptation. These activities are expected to enhance the quality of service, operational efficiency and overall customer satisfaction, which will ultimately contribute to the sustainable growth of the tourism industry. This, in turn, will increase the competitiveness and attractiveness of Kazakhstan as a global tourist destination.

Литература

1. McKinsey. Future of Tourism: Tech, Staff, and Customers. - 2024. URL: https://www.mckinsey.com (accessed on 23.08.2025).

2. Travelport. Digital Traveler Survey 2019: Mobile App Usage in Travel. - 2019. URL: https://www.travelport.com (accessed on 23.08.2025).

3. Statista. Most downloaded travel apps worldwide in 2022-2023, by aggregated number of downloads (in millions). - 2023. URL: https://www.statista.com (accessed on 23.08.2025).

4. Abuev A. Tourism in Kazakhstan: industry research, issues and prospects. - 2024. URL: https://ffin.kz/research/9-turizm-v-kazakhstane-issledovanie-otrasli-problematika-i-perspektivy (accessed on 23.08.2025).

5. Concept for the development of the tourism industry of the Republic of Kazakhstan for 2023-2029. Resolution No.262 of 28.03.2023. - URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000262 (accessed on 23.08.2025).

6. Мамраева Д.Г.,Ташенова Л.В.,Гребенюк Д.Д. Особенности использовании цифровых технологий при разработке городских туристических маршрутов: лучшие мировые практики// Вестник университета Туран- 2022. - № 3. - P.122-131. DOI 10.46914/1562-2959-2022-1-3-122-131.

7. Tashenova L.V., Mamraeva D.G., Borbasova Z.N., Grebenyuk D.D. Development of tourist smart destinations: promising world practices // Қазақ экономика, қаржы және халықаралық сауда университетінің жаршысы - Маркетинг и Туризм.- 2022. - № 3(48). - P.350–359. DOI 10.52260/2304-7216.2022.3(48).45.

8. Mussina K.P., Mamrayeva D.G., Lemanowicz M. Digitalization in the tourism industry of Kazakhstan // Economics Journal. - 2020. - №3. - P.64 - 72. DOI 10.31489/2020ec3/64-72.

9. Е.Қалекеева , Г.В. Муратбекова, С. Жардемкызы, А.А.Албанова. Внедрение цифровых технологий в области пассажирских и грузовых перевозок// Вестник КазАТК- № 1(130).-С.119-129. DOI 10.52167/1609-1817-2024-130-1-119-129.

10. Royal Tulip Almaty Hotel. Database 2019–2023: Technology-related factors that influenced guest decisions URL: https://royal-tulip-almaty.goldentulip.com/en-us/(accessed on 23.08.2025).

11. SimilarWeb. Top Mobile Apps in Kazakhstan – Travel & Local Category [Электронный ресурс]. - 2025. - https://www.similarweb.com/top-apps/google/kazakhstan/travel-local/ (accessed on 23.08.2025).

12. Omarova A., Borbasova Z. The impact of the hotel business on the digital economy of Kazakhstan // Вестник казахского университета экономики, финансов и международной торговли.-2024.-№1(54).-P.93-98. - DOI 10.52260/2304-7216.2024.1(54).12.

References

1. McKinsey. Future of Tourism: Tech, Staff, and Customers. - 2024. URL: https://www.mckinsey.com (accessed on 23.08.2025).

2. Travelport. Digital Traveler Survey 2019: Mobile App Usage in Travel. - 2019. URL: https://www.travelport.com (accessed on 23.08.2025).

3. Statista. Most downloaded travel apps worldwide in 2022-2023, by aggregated number of downloads (in millions). - 2023. URL: https://www.statista.com (accessed on 23.08.2025).

4. Abuev A. Tourism in Kazakhstan: industry research, issues and prospects. - 2024. URL: https://ffin.kz/research/9-turizm-v-kazakhstane-issledovanie-otrasli-problematika-i-perspektivy (accessed on 23.08.2025).

5. Concept for the development of the tourism industry of the Republic of Kazakhstan for 2023-2029. Resolution No.262 of 28.03.2023. - URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000262 (accessed on 23.08.2025).

6. Mamraeva D.G.,Tashenova L.V.,Grebenjuk D.D. Osobennosti ispol’ zovanii cifrovyh tehnologij pri razrabotke gorodskih turisticheskih marshrutov: luchshie mirovye praktiki// Vestnik universiteta Turan-2022. - № 3. - P.122-131. DOI 10.46914/1562-2959-2022-1-3-122-131.[in Russian]

7. Tashenova L.V., Mamraeva D.G., Borbasova Z.N., Grebenyuk D.D. Development of tourist smart destinations: promising world practices // Қазақ экономика, қаржы және халықаралық сауда университетінің жаршысы - Маркетинг и Туризм.- 2022. - № 3(48). - P.350–359. DOI 10.52260/2304-7216.2022.3(48).45.

8. Mussina K.P., Mamrayeva D.G., Lemanowicz M. Digitalization in the tourism industry of Kazakhstan // Economics Journal. - 2020. - №3. - P.64 - 72. DOI 10.31489/2020ec3/64-72.

9. E.Қalekeeva , G.V. Muratbekova, S. Zhardemkyzy, A.A.Albanova. Vnedrenie cifrovyh tehnologij v oblasti passazhirskih i gruzovyh perevozok// Vestnik KazATK- № 1(130).-S.119-129. DOI 10.52167/1609-1817-2024-130-1-119-129. [in Russian]

10. Royal Tulip Almaty Hotel. Database 2019–2023: Technology-related factors that influenced guest decisions URL: https://royal-tulip-almaty.goldentulip.com/en-us/(accessed on 23.08.2025).

11. SimilarWeb. Top Mobile Apps in Kazakhstan – Travel & Local Category [Электронный ресурс]. - 2025. - https://www.similarweb.com/top-apps/google/kazakhstan/travel-local/ (accessed on 23.08.2025).

12. Omarova A., Borbasova Z. The impact of the hotel business on the digital economy of Kazakhstan // Vestnik kazahskogo universiteta jekonomiki, finansov i mezhdunarodnoj torgovli.-2024.-№1(54).-P.93-98. - DOI 10.52260/2304-7216.2024.1(54).12.

Information about the authors

Omarova A. - PhD student, Karaganda University of Kazpotrebsoyuz, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: aiganym128@mail.ru;

Borbasova Z. - doctor of Economic Sciences, Professor, Karaganda University of Kazpotrebsoyuz, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: borbasova@mail.ru;

Ulakov S. - Candidate of Economic Sciences (PhD), Professor, Karaganda University of Kazpotrebsoyuz, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: s_ulakov@mail.ru.

Fonova N. - candidate of Economic Sciences, associate professor, Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia, e-mail: nina.fonova@gmail.com.

Информация об авторах

Омарова А.С. - PhD докторант Карагандинского университета Казпотребсоюза, Караганда, Казахстан, e-mail: aiganym128@mail.ru;

Борбасова З.Н. - д.э.н., профессор, Карагандинский университет Казпотребсоюза, Караганда, Казахстан, e-mail: borbasova@mail.ru;

Улаков С.Н. - к.э.н., профессор, Карагандинский университет Казпотребсоюза, Караганда, Казахстан, e-mail: s_ulakov@mail.ru.

Фонова Н. Г. - к.э.н., доцент, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия, e-mail: nina.fonova@gmail.com.

МНРТИ 06.35.31 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-769**

ГУДВИЛЛДІҢ БУХГАЛТЕРЛІК ЕСЕБІ ЖӘНЕ ОНЫ БАҒАЛАУ МОДЕЛЬДЕРІ

С. Рейдолда, Р.А. Ерниязов, А.К. Алпысбаева, Б.А. Жуматаева, У.Б. Юсупов, А.Т. Кабиева

Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан

Корреспондент авторлар: Sau_1981@mail.ru, erniyazov_rust@mail.ru

Мақаланың мақсаты гудвиллдің құнын бағалаудың тиімді моделін анықтау үшін талдау және гудвилді бухгалтерлік есепке алу мәнін ашу болып табылады. Гудвиллмен туындаған мәселенің бірі - бухгалтерлік есепте әдейі немесе абайсызда гудвиллдің сомасын асыра сілтеп көрсетеді. Мұндай асыра сілтеулер ұйымдардың активтерін жасанды түрде мықты етіп көрсетуі салдарынан инвесторларды адастыруы мүмкін. Осыған байланысты мақалада ұйымның гудвиллін дәл қалай анықтауға болатындығын қарастырамыз. Гудвиллге қатысты ұйымдарды сатып алу кезінде сатып алушы артық төлем жасай. Нәтижесінде жанжалдар туындайды, осыған байланысты гудвиллдің құнсыздануына жыл сайын сынақтар жүргізу арқылы ұйымның мәлімделген гудвиллдің әділ нарықтық құнынан асып кетуін анықтайды. Осы сынақтар гудвиллдің азаюына алып келгенде, ұйым қаржылық есептіліктің төмендеуін гудвиллдің құнсыздануынан болған залал ретінде көрсетеді. Осы жағдайды ескере отырып, біз гудвиллдің құнсыздануына тестілеудің негізгі қадамдарын қарастыра аламыз.

Ұйымның гудвилл үшін төлеген шығындарын 40 жыл ішінде амортизациялаудың орнына, сатып алынған ұйымлармен байланысты гудвилл құнының жыл сайынғы азаюын мойындауы керек. Кірістер мен шығыстардың мұндай сәйкестігі қаржылық есептіліктің негізділігін қамтамасыз етеді, сонымен қатар бухгалтерлерге құнсызданудан болған шығындарды өлшеу үшін тиісті модельді таңдау міндеті туындайды. Авторлар осы жаңа стандартты шығарудың кейбір себептерін атап көрсетеді, дисконтталған ақша ағындарының әсерін және осындай құнсыздануды өлшеу үшін қалдық кіріс әдістерін салыстырады және жаңа беделді ережелерді сақтау үшін тұжырымдамалық модельді қалай әзірлеу керектігін ұсынады.

Түйін сөздер: гудвилл, іскерлік бедел, ұйымның құны, гудвиллдің құнсыздануы, амортизация.

БУХГАЛТЕРСКИЙ УЧЕТ ГУДВИЛЛА И МОДЕЛИ ЕГО ОЦЕНКИ

С. Рейдолда, Р.А. Ерниязов, А.К. Алпысбаева, Б.А. Жуматаева, У.Б. Юсупов, А.Т. Кабиева

Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: Sau_1981@mail.ru, erniyazov_rust@mail.ru

Цель статьи - определить эффективность моделей оценки гудвилла, проанализировав и раскрыв сущность учета гудвилла. Одной из проблем, возникающих в связи с гудвиллом, является умышленное или ненамеренное преувеличение его величины в бухгалтерском учете. Такие преувеличения могут ввести инвесторов в заблуждение из-за того, что компании искусственно делают свои активы сильными. В связи с этим в статье мы рассмотрим, как именно определить гудвилл компании. При покупке компаний, связанных с гудвиллом, покупатель переплачивает. В результате возникают конфликты, в связи с чем от компаний стали проводиться ежегодные тесты на обесценение гудвилла и предусматриваться выявление превышения заявленной гудвилла компании над ее справедливой рыночной стоимостью. По мере того, как эти тесты приводят к сокращению гудвилла, организация показывает снижение финансовой отчетности как ущерб от обесценения гудвилла. Учитывая эту ситуацию, теперь мы можем рассмотреть основные этапы тестирования на обесценение гудвилла.

Вместо того, чтобы амортизировать расходы, которые организация заплатила за гудвилл, в течение 40 лет, она должна признать ежегодное снижение стоимости гудвилла, связанное с приобретенными ұйымми. Такое соответствие доходов и расходов обеспечивает достоверность финансовой отчетности, а также возникает обязанность бухгалтеров выбирать соответствующую модель для измерения убытков от обесценения. Авторы подчеркивают некоторые причины для выпуска этого нового стандарта, сравнивают эффекты дисконтированных денежных потоков и методы остаточного дохода для измерения такого обесценения и предлагают, как разработать концептуальную модель для соблюдения новых авторитетных правил.

Ключевые слова: гудвилл, деловая репутация, стоимость компании, обесценение гудвилла, амортизация.

GOODWILL ACCOUNTING AND ITS VALUATION MODELS

S. Reidolda✉, R.A. Yerniyazov✉, A.K. Alpysbaeva, B.A. Zhumataeva, U.B. Yusupov, A.T.Kabiyeva

K. Kulazhanov University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
e-mail: Sau_1981@mail.ru, erniyazov_rust@mail.ru

The purpose of the article is to analyze and reveal the essence of goodwill accounting in order to determine the effectiveness of goodwill valuation models. One of the issues arising from goodwill is the intentional or unintentional overstatement of its value in accounting. Such overstatements can mislead investors, as companies artificially present their assets as impressive. Therefore, in this article, we will consider how to determine a company' s goodwill. When companies with goodwill are acquired, the buyer tends to overpay. As a result, conflicts arise that require companies to perform annual tests for goodwill impairment, which involve determining whether reported goodwill exceeds its fair market value. As a result of these tests, goodwill may decline, and the company records this decline as a goodwill impairment charge in its financial statements. Taking this situation into account, we can review the key steps for testing goodwill for impairment. Instead of amortizing the costs incurred for goodwill over 40 years, the company should recognize the annual decline in the value of goodwill associated with acquired firms. This matching of revenues and expenses ensures the accuracy of financial reporting, and selecting the appropriate model for measuring impairment becomes the responsibility of accountants. The authors emphasize some reasons for issuing this new standard, comparing it to previous practices.

Keywords: goodwill, business reputation, company value, goodwill impairment, depreciation.

Кіріспе. Гудвилл ұғымы 90 жылдардың аяғындағы атышулы ең үлкен шығындардың бірі болды. Ұйымды сатып алған кезде бастапқыда гудвиллдің көптеген негіздемелері болуы мүмкін: клиенттермен күшті қарым-қатынас, зияткерлік меншік немесе танымал бренд сияқты материалдық емес активтер - бұл гудвиллге ықпал ететін факторлар болып табылады [1]. Осылайша, кез келген гудвилл активін нақты не қолдайтынын түсіну қиын [2]. Гудвилл - бұл бір ұйымды екінші ұйымның сатып алуынан туындайтын материалдық емес актив. Сатып алушы ұйымды өзінің баланстық құнынан артық құн төлеп сатып алған кезде [3], баланстық құннан артық төлегнген сома сатып алушының балансында гудвилл ретінде есепке алынады. Көптеген инвесторлар гудвиллді бағалау қиын активтердің бірі деп санайды [4].

1970 жылдан бастап Американдық бухгалтерлік есеп қағидасына сәйкес ұйымдар гудвиллді 40 жыл тиімді пайдалану мерзімі ішінде амортизациялау арқылы есептен шығара бастады және осылайша гудвиллдің құны төмендетіле бастады [5]. Осы сәттен бастап ұйымдарды сатып алу кезінде 20 жылдан астам уақыт ішінде гудвиллдің төмендеу мәндерін мойындай отырып, ұйымның нарықтық құнын анықтау қажет. «Материалдық емес активтер» 38 ҚЕХС талабына сәйкес ұйымдарды біріктіру кезінде алынған гудвилл бұл сатып алушы-ұйым болашақта күтілетін эко-

номикалық табысты күту кезінде өздігінен жеке бірегейлендіре алмайтын және бөлек таныла алмайтын активтерден жасалатын төлем болып танылады [6]. Болашақтағы экономикалық табыстар сатып алынған бірегейлендірілетін активтер арасында тиімділігінен немесе жеке өзі қаржы есептілігінде тану талаптарына жауап бермейтін, бірақ ұйымдарды біріктіру кезінде сатып алушы ақысын төлеуге даяр активтерден туындауы ықтимал [7]. «Бизнесті біріктіру» 3 ХҚЕС (IFRS) сәйкес сатып алу күніне сатып алынатын ұйымның тану критерийлеріне сәйкес келетін сәйкестендірілетін активтерін, міндеттемелерін және шартты міндеттемелерін тану арқылы бизнесті біріктіруге арналған шығындарды бөлу керек: активтер үшін ұйымның осы активтермен байланысты экономикалық пайда алатынына және олардың әділ құнын сенімді түрде өлшеуге болатындығына сенімділік бар; міндеттемелерді өтеу үшін экономикалық пайда әкелетін ресурстарды жою қажет болатынына сенімділік бар олардың әділ құнын сатып алу күніндегі әділ құнымен сенімді түрде өлшеуге болады [8].

Анықталатын активтер мен міндеттемелерге сатып алынатын ұйымның барлық қаржылық активтері мен қаржылық міндеттемелері кіреді. Сатып алу күні: а) бизнесті біріктіру кезінде сатып алынған гудвиллді актив ретінде тану; б) бастапқыда гудвиллді өзіндік құны бойынша өлшеу қажет [9].

Гудвиллдің құны - бұл бизнесті біріктіру шығындарының анықталатын активтердің, міндеттемелердің және шартты міндеттемелердің таза әділ құнындағы сатып алушының үлесінен асып кетуін айтады [10]. Ұйымдарды біріктіру нәтижесінде сатып алынған жеке сәйкестендірілетін материалдық емес активтердің бастапқы құны әділ құны бойынша танылады. Жеке материалдық емес активтерді сәйкестендіру және бөлек бағалау, егер алынған актив материалдық емес активті тану анықтамасы мен критерийлеріне сәйкес келсе, олар қосылатын ұйымның есебінде бөлінбеген кезде де жүргізіледі. Егер материалдық емес активті жеке объект ретінде сенімді түрде бағалау мүмкін болмаса, онда оның құны ұйымның гудвилліне (іскерлік бедел ретінде) қосылады [11].

Зерттеу барысында мынадай негізгі зерттеу сұрақтары тұжырымдалды:

1. Гудвиллді бағалаудың тиімді моделін қалай анықтауға болады?

2. Қазіргі қолданыстағы DDM, DCF және RIM модельдерінің қайсысы гудвиллдің құнсыздануын есептеуге қолайлы?

3. Гудвиллдің құнсыздануын тексерудің қандай әдістері шынайы қаржылық есептілікке қол жеткізуге мүмкіндік береді?

4. Сатып алу кезінде төленген артық құн мен таза активтер арасындағы айырмашылық гудвиллдің әділ құнын қалайша бұрмалайды?

Мақалада үш түрлі бағалау моделі – DDM (дивидендтік дисконттау моделі), DCF (дисконталған ақша ағыны моделі), RIM (қалдық табыс моделі) – салыстырмалы талдауға түскен. Әрқайсысының теориялық негізі мен практикалық қолайлылығы сипатталған. Сонымен қатар, гудвиллдің құнсыздануын бағалауда кездесетін тәжірибелік қиындықтар атап көрсетілген.

Зерттеу басында авторлар мынадай күтілетін нәтижелерді мақсат етіп қояды:

- гудвиллдің әділ құнын бағалаудың тиімді және нақты моделін анықтау;

- қаржылық есептілік шынайылығын қамтамасыз ететін құнсыздануды тестілеудің дұрыс әдістемесін ұсыну;

- гудвиллдің құнсыздануынан болатын есептік бұрмаланулардың алдын алу жолдарын көрсету.

Мақаладағы модельдерді салыстырмалы талдау нәтижелері күтілген мақсатпен толық үндеседі: DDM моделінің болжам жасау қиындығы, DCF моделінің кең таралуы және RIM моделінің таза табысқа негізделуі нақты дәлелдермен берілген. Сонымен бірге құнсыздануды бағалаудағы қиындықтар (мысалы, сатып алынған гудвилл мен кейінгі ішкі гудвиллді ажырату) күтілген нәтижелерге жетуге кедергі келтіретін факторлар ретінде көрсетіледі. Авторлар ұсыныс ретінде, ұйым ерекшелігіне сай модель таңдауды, сонымен қатар объективті баға-

лау әдістерін қолдануды алға тартады - бұл да бастапқы күтіліммен үйлеседі.

Қазақстандағы бухгалтерлік есеп тәжірибесінде гудвиллді тану және бағалау Халықаралық қаржылық есеп стандарттары (IFRS) негізінде жүзеге асырылады. Атап айтқанда, ҚЕХС 3 «Бизнесті біріктіру» стандарты бойынша, сатып алу күніне сәйкестендірілетін активтер мен міндеттемелердің әділ құнына төленген артық сома гудвилл ретінде танылады. Ал ҚЕХС 36 «Активтердің құнсыздануы» стандартына сәйкес, бұл гудвилл жыл сайын және индикаторлар пайда болғанда құнсыздануға тестіленуі тиіс. Осылайша, мақалада қарастырылған теориялық модельдер (DDM, DCF, RIM) мен гудвиллдің құнсыздануына қатысты тұжырымдар Қазақстанда қолданылатын қаржылық есеп стандарттарымен толық сәйкес келеді және тәжірибелік маңызға ие.

Материалдар және әдістер. Ғылыми зерттеулерде гудвиллді бағалаудың келесідей модельдері қарастырылған (Герц және басқалар, 2001): дивидендтік дисконттау моделі (DDM), дисконталған ақша ағындарының моделі (DCF) және қалдық табыс моделі (RIM). Гудвиллді бағалау модельдеріне талдау жасай отырып, өзара салыстыру арқылы гудвиллді бағалаудың ең тиімді моделін анықтау қарастырылған. Сондай-ақ моделдердің әрқайсысына своп-талдау әдісі арқылы талдау жасай отырып, әр моделдің әлді, әлсіз және күшті жақтары анықталды.

Ұйымдар гудвиллді бүкіл бизнесті сатып алған кезде ғана тіркеуі керек, өйткені гудвилл бүкіл бизнес үшін төленген баға мен барлық арнайы анықталған активтер арасындағы айырмашылықты білдіреді. Мысалы, жылжымайтын мүлікті салушы бәсекелестің мүлкін және клиенттерін әрбір жеке жалдау бірлігінің әділ (нарықтық) құнынан жоғары бағаға, ең алдымен, жұмыс істеп тұрған (бизнес) концернін сатып алу кезінде сатып ала алады. Бұл бағалау тұтастай алғанда бизнестің құнынан бөлінбейді [12]. Нәтижесінде алынған гудвилл таза материалдық және анықталатын материалдық емес активтердің әділ нарықтық құнын шегергенде, сатып алынған бизнестің сатып алынған бағасына тең болады. Осылайша, туындаған айырмашылық негізгі бағалау шоты деп аталады. Сол сияқты, субъектілер мұндай активтердің олар үшін төлегеннен де қымбат екенін дәлелдей алса да, ішкі пайда болған гудиллді мойындамауы керек, өйткені объективті бағалау әдісі туындамайды [13].

Егер баға белгіленетін нарықтық бағалар қол жетімді болмаса, әділ құнды бағалау әдетте ұқсас активтер мен міндеттемелердің бағаларын ескере отырып, болжамды болашақ ақша ағындарының дисконталған құны сияқты бағалаудың тиісті әдістерін қолдану арқылы қолда бар ең жақсы ақпаратқа негізделуі керек. Ұйымдар өздерінің таза активтерінің әділ құнының осындай төмендеуін өлшеу үшін объективті бағалау әдістерін қолдануы керек, бұл нарық қатысушылары пайыздық мөлшерлемелер, дефолт, алдын ала төлем және құбылмалылық туралы болжамдарды қоса алғанда, құндылықтарды, болашақ кірістер мен болашақ шығыстарды бағалауда қолданатын болжамдарды қамтуы керек [14]. Әділ құнды бағалау үшін күтілетін болашақ ақша ағындарын бағалайтын ұйымдар ақылға қонымды және негізделген болжамдарға сүйеніп, осындай күтілетін болашақ ақша ағындарын бағалау үшін барлық қолда бар деректерді ескеруі керек. Мұндай дәлелдемелерге берілген салмақ субъектінің осы дәлелдемелерді объективті түрде қаншалықты тексере алатындығына сәйкес келуі керек. Ықтимал ақша ағындарының мөлшерін немесе мерзімдерін бағалау үшін диапазондарды пайдаланатын ұйымдар, егер олар күтілетін ақша ағындарының тәсілін қолданса, тікелей немесе жанама түрде тәуекелдерге түзетілген дисконттау мөлшерлемесі арқылы ықтимал нәтижелердің ықтималдығын ескеруі керек. Сөйтіп болашақ ақша ағындарының ең тиімді бағасын анықтайды [15].

Нәтижелер және талқылау. Гудвиллді бағалаудың дивидендтік дисконттау моделі (DDM) меншікті капиталды бағалау модельдерінің көпшілігінің негізін қалайды, мұнда ұйымның меншікті капиталының құны - V, барлық күтілетін болашақ дивидендтердің дисконталған құнына тең - DIV, ұйымның меншікті капиталының

құны бойынша дисконтталған, r_e, әдетте уақыт бойынша тұрақты деп қабылданады:

$$V_0 = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{E_0 \, \mathrm{DIV}_n}{\left(1 + r_e\right)_n}$$

Уақыт кезеңдері t әрпімен жазылады және ағымдағы күн n уақыты ретінде белгіленеді. DDM қолдану үшін қажетті негізгі компаненттер дивидендтерді болжау және r_e бағалауы болып табылады. Дивидендтер болжамдар мен бағалау DDM меншікті капиталын бағалау моделін қолдану үшін екі негізгі параметрді реформалайды. Біздің пікір бойынша бұл түсініксіздік гудвиллді бағалауда әдістемелік дәлсіздікке және субъективті бағалауға әкеліп соғатынын айта отырып, гудвилл ұғымын есептеуде нақты анықтау өлшемдері қажет екенін баса көрсетеді.

Дисконтталған ақша ағындарының моделі. Теориялық тартымдылығына қарамастан, көп дивидендтер төлемейтін ұйымдар үшін ұзақ мерзімді перспективада DDM қолдану қиын. Осыған байланысты тәжірибеде қолданылуы жеңілдеу DDM балама түрінің практикалық формалары пайда болды. DDM балама түрінің практикалық формаларының бірі - Модильяни мен Миллердің (1958) қаржы теорияларымен тікелей байланысына негізделген дисконтталған ақша ағыны (DCF) моделі қолданыла бастады. DCF моделін пайдалану үшін алдымен бос ақша ағындарын (FCF) бағалау қажет, яғни ұйымның барлық операциялық және инвестициялық қажеттіліктерін қанағаттандырғаннан кейін капитал жеткізушілерінің белгілі бір тобына бөлуге болатын ақша ағындары. DCF моделінің көптеген нұсқалары болғанымен, FCF ең көп қолданылатын нұсқасы болып табылады. Ол қарызға да, үлескерлерге де бөлуге болатын ақша ағыны ретінде анықталады, ал дисконттау мөлшерлемесі капиталдың орташа өлшенген құны (WACC) болып табылады [16]. Бұл модель ұйымның қарызы мен меншікті капиталы сомасының құнын бағалайды; ұйымның артық ақшасын шегергендегі ұйымның қарызының нарықтық құны ұйымның құнын алу үшін ұйымның жалпы құнынан шегерілуі керек. Болашақта FCF шексіз жобалаудың өзіне тән қиындықтарына байланысты, DCF модельдерін пайдалануышылар FCF белгілі бір мерзімге дейін болжайды және таза қарыздың және меншікті капиталдың, VT+ таза қарыздың терминалдық құнын бөлек бағалайды:

$$V_0 + \mathrm{netdebt}_0 = \sum_{n=1}^{T} \frac{E_0 \, \mathrm{FCF}_n}{\left(1 + r_{\mathrm{wacc}}\right)^n} + \frac{E_0 \left(V_T + \mathrm{netdebt}_T\right)}{\left(1 + r_{\mathrm{wacc}}\right)^T}$$

мұндағы r_{wacc} - дисконттау мөлшерлемесі ретінде пайдаланылатын WACC білдіреді. Қарыз бен меншікті капиталдың түпкілікті құнын бағалаудың стандартты тәсілі ұйым соңғы күнге дейін тұрақты күйге жетеді деп болжайды және соңғы мәнді тұрақты g, $[E_o FCF_T(1 + g)]/(r_{wacc} - g)$ тұрақты қарқынмен өсетін FCF ретінде есептейді. DCF моделінің негізгі құрамдас бөліктері FCF болжамдары және WACC бағалауы, капиталдың орташа өлшенген құны болып табылады. WACC ұйымның капитал құрылымына сәйкес келеді. Пайдаланушылар көбінесе ұйымның мақсатты қарызы мен меншікті капиталының арақатынасына негізделген тұрақты WACC қабылдайды [17]. Біздің пікір бойынша бұл тәсілдің ұйым активтерінің шынайы жағдайын көрсетуге мүмкіндік беретінін, сонымен қатар гудвиллдің шын мәніндегі әділ құнын бағалауға жол ашатынын қолдайды.

Қалдық табыс моделі. Қалдық табыс моделі (RIM) таза профицитті есепке алуды ескере отырып, DDM алынуы мүмкін. Таза профицитті есепке алу кірістер мен шығыстар туралы есепте акционерлермен операцияларды қоспағанда, осы кезеңдегі меншікті капиталдың баланстық құнына әсер ететін барлық операциялар танылуы керек деп есептейді [18]. Қалдық табыс, RI, меншікті капиталдың өзіндік құнына тең мен-

шікті капитал үшін төлемді шегергендегі таза табысты есепке алу ретінде анықталады, меншікті капиталдың кезең басындағы баланстық құнынан көп:

$$\mathrm{RI}_t = \mathrm{NI}_t - r_e \mathrm{BV}_{t-1}$$

RIM үшін меншікті капиталдың нарықтық құны ұйымның меншікті капиталының ағымдағы баланстық құнының, BV_0 және күтілетін болашақ RI дисконтталған құнының қосындысы ретінде бағаланады. DCF моделі сияқты, RIM пайдаланушылары RI тек белгілі бір болашақ терминал күні арқылы болжайды және меншікті капиталдың нарықтық құны мен баланстық құны арасындағы айырмашылықты терминал құны мерзіміне бөлек бағалайды, $B_T - BV_T$:

$$V_0 = \mathrm{BV}_0 + \sum_{n=1}^{T} \frac{E_0 \mathrm{RI}_n}{\left(1 + r_e\right)^n} + \frac{E_0 \left(V_T - \mathrm{BV}_T\right)}{\left(1 + r_e\right)^T}$$

Бұл модельді пайдаланушылар көбінесе ұйым терминал мерзіміне дейін тұрақты күйге жетеді деп болжайды. Олар тұрақты g жылдамдығымен өсетін RI мәңгілігінің терминалдық мәнін (TV) есептейді, сондықтан $TV = E_0[RI_T(1+g)]/(r_e - g)$. RIM-ді қолданудың негізгі компоненттері BV және бухгалтерлік есептің таза кірісінің болжамдары, сондай-ақ r_e бағалауы болып табылады [19]. Баланстық құндылықтарды болжау сонымен қатар таза дивидендтерді болжауды талап етеді, яғни дивидендтер ретінде бөлінбеген пайданың кетуін шегергендегі жарғылық капиталдың таза ағыны. Теориялық эквиваленттілігіне байланысты DDM, DCF және RIM модельдері ағындар шексіздікке дейін дәйекті түрде жобаланған және дисконттаудың дәйекті мөлшерлемелері қолданылған кезде бірдей бағалауды қамтамасыз етеді. Алайда іс жүзінде ағындарды ақылға қонымды түрде болжауға болатын көкжиектер шектеулі және дисконттау мөлшерлемелері қателіктермен бағаланады. Бұл практикалық ойлар кейбір ғалымдар мен практиктерді бағалаудың бір моделін екіншісінен артық көруге мәжбүр етеді [20]. Біздің пікір бойынша бұл модельдерді салыстыра отырып, нақты жағдайға байланысты әрқайсысының артықшылықтары мен кемшіліктері бар екенін көрсетіп, ең тиімдісін таңдау үшін ұйымның ерекшелігіне мән беру қажеттігін ұсынады.

RIM және DCF моделінің айырмашылықтары мынандай: DDM, әдетте, негізгі теориялық модель болып саналады және DCF моделіне немесе RIM қарағанда аз эмпирикалық тестілеудің тақырыбы болып табылады. DCF де, RIM де бір спецификацияның екіншісіне қарағанда практикалық артықшылықтарын қабылдайтын жақтаушылары бар көптеген нұсқалары бар. DCF моделі MBA сыныбында да, Уолл-Стритте де танымал болғанымен, RIM екі параметрде де танымал бола бастады. Біздің пікір бойынша екі модельдің де қолдануға жарамды екенін мойындай отырып, нақты есептеу мен болжам жасау үшін модельді дұрыс таңдау ұйым табысына тікелей әсер ететінін айтады.

DCF моделінің мәлімделген тұжырымдамалық артықшылықтары оның ақша ағындарына баса назар аударатын корпоративтік қаржыландыру тамырларына негізделген [20]. Копленд және басқалар [21] және басқа да негізгі практикалық анықтамалықтардың авторлары ақша ағындарын бағалау мақсатында бухгалтерлік кірісте басым болады деп тұжырымдайды және осылайша DCF моделін бухгалтерлік есепке негізделген модельдерден жоғары қояды.

Гудвиллдің құнсыздануын тексерудегі қиындықтар. FASB гудвиллдің әділ құнын гудвиллмен байланысты есеп беру бөлімшесінің болжамды әділ құны мен гудвиллді қоспағанда, есеп беру бөлімшесінің танылған таза активтерінің әділ құны арасындағы айырмашылық ретінде бағалауды талап етеді. Егер гудвиллдің баланстық құны оның болжамды әділ құнынан асып кетсе, гудвилл құнсызданады және оны есептен шығару керек. Сатып алу күніндегі гудвиллдің құнсыздануының бұл сынағы мақсатты көрсеткіш үшін төленген баға мен мақсатты таза активтердің әділ құны арасындағы қалдық немесе айырмашылық болып табылады. Егер кейіннен гудвилл сатып алынған меншікті капиталдың жалпы құны ретінде өлшенсе, оны RIM немесе DCF бағалау моделі таза ак-

тивтердің әділ құнын шегергенде, гудвилльді қалдық ретінде өлшенуді жалғастырады [22]. Біздің пікір бойынша бұл қиындықтардың гудвиллге қатысты есепті жүргізуде айқын шектеулер тудыратынын, сондықтан бағалау мен есеп жүргізудің жетілдірілген, стандартталған тәсілдері қажет екенін көрсетеді.

Осылайша, сатып алу кезінде де, одан кейін де гудвилл бөлінетін актив болып табылмайды және бухгалтерлік есептің қолданыстағы стандарттарына немесе құнсыздануға ұсынылған тәсілге сәйкес қалдық ретінде өлшенуі керек. Таза активтердің әділ құнын есептеудегі кез келген өлшеу қателігі сатып алу күніндегі артық төлемдер мен төмен төлемдер сияқты гудвилльдің есептік құнына әсер етеді. Таза активтердің әділ құнына қарамастан, сатып алу кезінде гудвилльді өлшейтін жалпы қабылданған әдісі жоқ. Екі фактор сатып алғаннан кейінгі гудвилльді өлшеуді одан әрі қиындатады. Біріншіден, мақсатты ұйымдар көбінесе бас ұйымларға немесе олардың еншілес ұйымдарына біріктіріледі, бұл жеке тиімділікті бағалауды да, бухгалтерлік есепті өлшеуді де нашарлатады, сондай-ақ бизнесті біріктіру күнінен кейін кәсіпорынның гудвиллінен бөлек сатып алу гудвиллін өлшейді [23].

Екіншіден, егер ұйым өзінің тәуелсіздігін сақтап қалса да, сатып алу саласындағы гудвиллдің өзгеруі ішкі гудвиллдің қалыптасуынан кейінгі іскерлік үйлесімділіктің өзгеруінен ерекшеленбейді, бұл гудвиллдің екі түрінің де құнсыздануын жеке өлшеу мен тексеруді болдырмайды. Егер GAAP толығымен әділ құнға негізделген жүйе болса, онда мұндай бөлу маңызды болмас еді, өйткені сатып алу да, ішкі гудвилл де әділ бағаланатын еді. Материалдық емес активтердің құны активтер ретінде танылады, ішкі дамыған материалдық емес активтердің шығындары активтер ретінде танылады және ішкі дамыған гудвилл шығындары дереу жұмсалады [24]. Сатып алынған гудвилл капиталдандырылып қана қоймайды, сонымен қатар құнсыздануның кейінгі сынақтары ішкі өндірілген гудвилльді жанама түрде капиталдандыруы мүмкін, ал сыртқы сатып алынған гудвиллі жоқ ұйымлар ішкі өндірілген гудвиллге жұмсалған шығындарды өтеуді жалғастырады. Құнсыздануды тестілеудегі екі мәселе де қолданылатын бағалау үлгісіне қарамастан сақталады және бағалау үлгілерінің ешқайсысы оларды басқаларға қарағанда жеңілдетпейді [25].

Бұдан әрі гудвиллдің әрбір моделі бойынша своп-талдау жасалды және талдау нәтижесі келесі 1-кестеде берілген:

1 - кесте. Гудвиллдің әрбір моделі бойынша своп-талдау

Аспект	DDM моделі	DCF моделі	RIM моделі
Күшті жақтары	теориялық тұрғыда қарапайым; дивиденд саясаты тұрақты ұйымдарға ыңғайлы	ақша ағындарына негізделген нақты көрсеткіш береді; қаржылық есепке байланысты емес дербес модель	бухгалтерлік кіріске сүйенеді; капиталдың құнын нақты есептейді; шынайы табыстылықты көрсетеді
Әлсіз жақтары	дивиденд төлемейтін ұйымдарға қолдану қиын; болашақ дивидендтерді болжау күрделі	ақша ағынын нақты болжау қиын; WACC мөлшерлемесін бағалауда субъективтілік бар	баланстық құн мен таза табыс болжамдары дәл болмауы мүмкін; деректерге өте тәуелді
Мүмкіндіктер	тұрақты дивидендтік саясат ұстанатын компанияларға жарамды; инвесторларға түсінікті.	барлық ұйымдарға қолдануға икемді; бизнес-жоспарлармен жақсы үйлеседі	қаржылық есептілікке негізделгендіктен, аудит пен стандарттарға жақсы сәйкестенеді

Қауіп-қатерлер	ақпараттың жетіспеушілігі болжамды бұрмалауы мүмкін; тек дивидендке тәуелділік	сценарийлік қателер мен болашақты дәл болжай алмау қаупі; модель күрделі	таза кірістің бұрмала-нуы; есептік қателіктер мен болжам дәлсіздігі нәтижеге әсер етеді
Қорытынды	теориялық жағынан қарапайым әрі қолдануға жеңіл, бірақ дивидендтерге тәуелділігі оның практикалық қолдану аясын шектейді	ақша ағындарына сүйенетін әмбебап әрі кеңінен қолданылатын модель, алайда дұрыс болжам мен дисконттау мөлшерлемесін таңдау маңызды	есепке негізделген сенімді әдіс, бірақ таза кіріс пен баланстық құн көрсеткіштерінің дәлдігіне тәуелді. Теориялық және практикалық тұрғыда тепе-теңдік ұсына алады
Ескерту - авторлармен құрастырылған			

1-кестедегі своп-талдау нәтижесі бойынша DDM - теориялық тұрғыдан түсінікті және қарапайым, бірақ тек дивиденд төлейтін ұйымдарға тиімді. DCF - әмбебап және кең таралған модель, ақша ағындарына негізделген, бірақ болжам дәлдігіне тәуелді. RIM - есепке негізделген нақты модель, таза табыс пен баланстық құнды жақсы көрсетеді, бірақ дұрыс деректерді талап етеді.

Жоғарыдағы талдау бойынша гудвилл сатып алу кезінде төленген бағаның активтер мен міндеттемелердің таза әділ құнынан артатын бөлігі. Бұл теория Қазақстанда да қолданыстағы халықаралық қаржылық есеп стандарттарымен (ҚЕХС) тығыз байланысты. ҚЕХС 3 «Бизнесті біріктіру» стандарт бойынша, сатып алушы ұйым «Сатып алу күніне сәйкестендірілетін активтер мен міндеттемелердің әділ құнынан артық төленген соманы гудвилл ретінде таниды». Гудвиллдің мәнін авторлар «сатып алу күніне ұйымның әділ құны мен төленген баға арасындағы айырмашылық» деп сипаттайды - бұл IFRS 3-пен толық үндеседі [26]. ҚЕХС 36 «Активтердің құнсыздануы» стандартына сәйкес танылған гудвилл амортизацияланбайды, оның орнына жыл сайын құнсыздану тестінен өткізілуі тиіс. IAS 36 80-бабына сәйкес «Гудвиллді жыл сайын және индикаторлар болған жағдайда жиірек құнсыздануға тексеру қажет». Гудвиллді амортизациялау орнына жыл сайын әділ құнмен салыстырып, құнсыздануға сынақ жүргізудің маңызын атап өтеді - бұл IAS 36 талабымен толық үйлеседі [27].

2-кесте. «Қазақстан Темір Жолы» ұлттық компаниясы деректері бойынша гудвиллді бағалаудың алғашқы мәліметтері, млн теңге

Жыл	Дивиденд (DDM)	FCF (DCF)	Таза табыс (RIM)	Баланстық құн (BV)
2019	200	500	400	3000
2020	210	520	420	3100
2021	220	550	440	3200
2022	230	580	460	3300
2023	240	600	480	3400
Ескерту - мәліметтер «Қазақстан Темір Жолы» ұлттық компаниясының ішкі деректерінен алынды				

Қазақстандық есеп тәжірибесінде гудвиллді қолдану IFRS стандарттары 2006 жылдан бастап толық қабылданған. Барлық ірі және орта кәсіпорындар IFRS (ҚЕХС) негізінде қаржылық есеп-

тілік жүргізеді, соның ішінде: Гудвиллді тану - ҚЕХС 3 бойынша; Гудвиллдің құнсыздануын тестілеу – ҚЕХС 36 бойынша; Қаржы министрлігі мен ҚСҚЕО ұсынымдары. Қазақстан Республикасының Қаржы министрлігі мен кәсіби ұйымдар (мысалы, ҚСҚЕО - Қаржылық есептілік стандарттарын қолдану орталығы) гудвиллді сатып алу әдісімен тану керектігін және шоғырландырылған есептілік дайындайтын компаниялар үшін жыл сайын құнсыздануға сынақтан өткізу қажеттігін ескертеді. Мысалы, «Қазақстан Темір Жолы» ұлттық компаниясы шетелдік активті сатып алғанда, оның есептілігінде гудвилл IFRS 3 негізінде танылып, IAS 36 бойынша жыл сайын құнсыздануға тест жүргізіледі. Бұдан әрі «Қазақстан Темір Жолы» ұлттық компаниясы деректері бойынша гудвиллді бағалауға қажетті гипотетикалық деректер төменде 2-кестеде берілген:

Талдауға қажетті ортақ параметрлер: дисконт мөлшерлемесі (r) = 10%; капиталдың орташа өлшенген құны (WACC) = 10%; меншікті капиталдың құны (re) = 10%. Талдау нәтидесі келесі 3-кестеде көрсетілген:

3-кесте. DDM, DCF, RIM моделдері бойынша гудвиллді бағалау

Жыл	Моделдер		
	DDM	DCF	RIM
Формула	$PV_{\text{DDM}} = \sum \frac{D_t}{(1+r)^t}$	$PV_{\text{DCF}} = \sum \frac{\text{FCF}_t}{(1+\text{WACC})^t}$	$\text{RI}_t = \text{Net Income}_t - r_e \cdot \text{BV}_{t-1}$ $PV_{\text{RIM}} = \sum \frac{\text{RI}_t}{(1+r_e)^t}$
2019	$\frac{200}{1+0.10} = 181.82$	$\frac{500}{1.10} = 454.55$	$\text{RI} = 400 - 0.10 \cdot 3000 = 100$ $PV = \frac{100}{1.10} = 90.90$
2020	$\frac{210}{(1+0.10)^2} = 173.55$	$\frac{520}{(1.10)^2} = 430.58$	$\text{RI} = 420 - 0.10 \cdot 3100 = 110$ $PV = \frac{110}{(1.10)^2} = 90.91$
2021	$\frac{220}{(1.10)^3} = 165.29$	$\frac{550}{(1.10)^3} = 412.16$	$\text{RI} = 440 - 0.10 \cdot 3200 = 120$ $PV = \frac{120}{(1.10)^3} = 90.11$
2022	$\frac{230}{(1.10)^4} = 157.18$	$\frac{580}{(1.10)^4} = 396.02$	$\text{RI} = 460 - 0.10 \cdot 3300 = 130$ $PV = \frac{130}{(1.10)^4} = 88.69$
2023	$\frac{240}{(1.10)^5} = 149.01$	$\frac{600}{(1.10)^5} = 384.87$	$\text{RI} = 480 - 0.10 \cdot 3400 = 140$ $PV = \frac{140}{(1.10)^5} = 86.87$
Барлығы	902.5	2278.4	490.0
Ескерту – кесте авторлармен есептеліп құрастырылған.			

3-кестеге сәйкес талдау нәтижесі бойынша DCF моделі ең жоғары бағалауды көрсетеді, себебі ол бүкіл ақша ағынын есепке алады. DDM - дивидендке тәуелді модель, сондықтан тек тұрақты дивиденд төлейтін ұйымдарда нәтижелі. RIM таза табыс пен капитал құнын өлшейді, нақты есептерге негізделген.

Қорытынды. Гудвиллдің төмендеуін өлшеуде көптеген мәселелер бар. Герц және т.б. пікірінше пайдаланудың дұрыс үлгісі, болашақ ақша ағындарының болжамы және сатып алу

гудвиллін сатып алудан кейінгі кезеңде кәсіпорынның жалпы гудвиллінен ажырата алмау үлкен мәселе болып табылады. Сатып алудан кейінгі кезеңде сатып алу гудвиллін кәсіпорынның жалпы гудвиллінен ажырата алмау гудвиллге құнсыздануды сынау тәсілін қабылдауға ең үлкен кедергі болып табылады. RIM және DCF модельдерінің тән теориялық эквивалеттілігіне және олардың ұйым деңгейіндегі проформалық қаржылық есептілікке деген жалпы қажеттілігіне сүйене отырып, олар ғалымдардың да, практиктердің де RIM және DCF модельдері ішкі дәйекті дисконттау мөлшерлемелерін, өсу қарқынын және тұрақты күйлерді пайдаланған кезде, барлық субъектілер пайда болады деген сенімін қайталайды. Бұл мәселелердің шешімі ретінде гудвиллді өлшеуде RIM және DCF модельдерінің теориялық теңдігін және оларды дұрыс қолданудың маңыздылығын алға тартады. Сонымен бірге болашақ ақша ағындарын болжау мен дисконттау мөлшерлемесін дәл есептеудің өзектілігіне назар аударады.

Зерттеуде гудвиллдің экономикалық мәні мен мазмұны, оны бағалау мен есепке алу мәселелері теориялық және практикалық тұрғыда жанжақты талданған. Ұсынылған ғылыми негіздер халықаралық және отандық қаржылық есептілік стандарттары аясында өзектілігін дәлелдеді.

Гудвилл - компанияның нарықтағы орны, беделі, зияткерлік капиталы, клиенттік базасы секілді материалдық емес артықшылықтарының жиынтығын білдіретін, бірақ қаржылық есепте көрінуі күрделі актив. Бұл активтің құнын дұрыс бағалау компанияның нақты нарықтық құнын айқындауда, инвестициялық шешімдердің негізділігін арттыруда ерекше маңызға ие.

Зерттеу барысында гудвиллді бағалаудың үш негізгі моделі – DDM (дивидендтік дисконттау моделі), DCF (дисконтталған ақша ағыны моделі) және RIM (қалдық табыс моделі) салыстырмалы талдау арқылы сипатталған. Әрбір модельдің теориялық негізі, артықшылықтары мен шектеулері SWOT-талдау арқылы жүйеленіп, қолдану жағдайларына қарай практикалық ұсынымдар берілді.

Гипотетикалық есептік үлгілер арқылы алынған нәтижелер: жалпы ағымдағы құн DDM моделі бойынша 902.5 млн тг, DCF моделі бойынша 2278.4 млн тг, RIM моделі бойынша 490.0 млн тг бағаланды.

Бұл деректер әр модельдің ерекшелігін нақты көрсетеді:

- DCF моделі болашақ ақша ағындарын кешенді қамтып, жоғары құн көрсетеді;

- DDM моделі тұрақты дивиденд төлейтін компаниялар үшін тиімді;

- RIM моделі таза табыс пен баланстық құн арқылы нақтырақ нәтижелер береді, әсіресе қаржылық есептілігі жүйеленген компанияларға ұсынылады.

Қазақстандық есеп тәжірибесімен байланысына келетін болсақ, гудвиллді есепке алу және тестілеу мәселелері ҚР-да қолданылатын Халықаралық қаржылық есеп стандарттары (ҚЕХС) бойынша жүзеге асады: ҚЕХС 3 ”Бизнесті біріктіру” стандарты гудвиллді сатып алу кезінде тануды міндеттейді; ҚЕХС 36 ”Активтердің құнсыздануы” стандарты гудвиллді жыл сайын амортизациясыз, тек құнсызданууға тестілеуді талап етеді. Мақала мазмұны осы стандарттармен толық сәйкес келеді, бұл зерттеудің тәжірибелік құндылығын арттырады.

Жинақтай келе мынандай тұжырымдарды түйіндуге болады:

Гудвиллді бағалау – тек қаржылық есеп жүргізудің элементі ғана емес, сонымен қатар компания құнының ұзақ мерзімді тұрақтылығын анықтайтын маңызды құрал. Мақалада ұсынылған теориялық модельдер мен есептік талдаулар көрсеткендей:

- Компанияның стратегиясына, қызмет саласына және қаржылық құрылымына байланысты гудвиллді бағалау әдісін саралап таңдау қажет;

- Қазақстандық кәсіпорындарға RIM моделі неғұрлым икемді, себебі ол таза табыс пен баланстық ақпаратқа сүйенеді;

- Халықаралық стандарттарға сәйкестік – гудвиллдің әділ әрі сенімді танылуын қамтамасыз етеді.

Қорыта келгенде, гудвилл – заманауи экономиканың материалдық емес, бірақ маңызды құн көрсеткіші. Сондықтан оны дұрыс бағалау, есепке алу және тестілеу – ұйымдардың ұзақ мерзімді тұрақтылығын қамтамасыз етуде стратегиялық маңызы бар. Сол себепті жоғарыда аталған ұсыныстарды іске асыру – ғылыми зерттеу нәтижелерінің практикалық қолданылуын қамтамасыз етеді.

Әдебиеттер

1. Abdul J.M. Audit committee independence and a contracting perspective on goodwill impairment // Singaporean evidence. Business: Theory and Practice. -2017. -Vol.18. -P.128-135 DOI 10.3846/btp.2017.013.

2. Korosec B., Jerman M., Tominc P. The impairments test of goodwill: an empirical analysis of incentives for earnings management in Italian publicly traded companies // Economic Research-Ekonomska Istrazivanja. -2016. -Vol.29(1).- P 162-176. DOI 10.1080/1331677X.2016.1164923.

3. Mazzi F., André P., Dionysiou D., Tsalavoutas I. Compliance with goodwill-related mandatory disclosure requirements and the cost of equity capital // Accounting and Business Research. -2017. -Vol. 47(3). -P 268-312. DOI 10.2139/ssrn.2464154.

4. Sapkauskiene A., Leitoniene S., Vainiusiene E. Disclosure of goodwill impairment in the Baltic States // Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics. -2016.- Vol.27(4). -P 417-429. DOI 10.5755/j01.ee.27.4.15360.

5. Al-Hiyari A., Latif R.A., Amran N.A. The value relevance of purchase goodwill in Malaysian firms: the pre- and post-IFRS evidence // International Journal of Business Research. -2016. - Vol.16(3). -P 69-80. DOI 10.18374/IJBR-16-3.5.

6. Alshehabi A., Georgiou G., Ala S. A. Country-specific drivers of the value relevance of goodwill impairment losses//Journal of International Accounting, Auditing and Taxation. -2021. – Vol.43: 100384. DOI 10.1016/j.intaccaudtax.2021.100384.

7. Burger M., Wen H. The relative and incremental value relevance of goodwill before and after SFAS No.142//Journal of Accounting and Public Policy. -2021. –Vol.40(6): 106906. DOI 10.1016/j.jaccpubpol.2021.106906

8. Carvalho C., Rodrigues A. M., Ferreira C. Goodwill and mandatory disclosure compliance: a critical review of the literature // Australian Accounting Review. -2016. -Vol 26(4). -P.379-389. DOI 10.1111/auar.12129.

9. Amel-Zadeh A., Glaum M., Sellhorn T. Empirical goodwill research: insights, issues, and implications for standard setting and future research // European Accounting Review. -2021.-Vol.32. - P 1-32. DOI 10.1080/09638180.2021.1983854.

10. Amorós A., & Cavero, J. A. The economic effects of IFRS goodwill reporting // Australian Accounting Review. -2018.- 86(28).- 309-322 p. DOI 10.1111/auar.12200

11. Bepari Md. K., Mollik A. T. Regime change in the accounting for goodwill: goodwill write-offs and the value relevance of older goodwill//International Journal of Accounting & Information Management. -2017.- 25(1).-P 43-69. DOI 10.1108/IJAIM-02-2016-0018.

12. Chen V. Y. S., Keung E. C., Lin I-M. Disclosure of fair value measurement in goodwill impairment test and audit fees//Journal of Contemporary Accounting and Economics. -2019. -Vol.15(3): 100160. DOI 10.1016/j.jcae.2019.100160.

13. Ferramosca S., Greco G., Allegrini M. External audit and goodwill write-off // Journal of Management and Governance. -2017. -Vol. 21(4).-P.907-934. DOI 10.1007/s10997-016-9369-x.

14. Financial Accounting Standards Board Identifiable intangible assets and subsequent accounting for goodwill project/ IASB Joint Education Meeting FASB Agenda Ref 18A. -2021. URL: https://www.ifrs.org/content/dam/ifrs/meetings/2021/july/iasb-fasb/ap18a-identifiable-intangible-assets-and-subsequent-accounting-for-goodwill.pdf. - Қаралған күні: 15.01.2025.

15. Frii P., Hamberg, M. What motives shape the initial accounting for goodwill under IFRS 3 in a setting dominated by controlling owners? // Accounting in Europe. -2021.- 18(2). -P.218-248. DOI 10.1080/17449480.2021.1912369.

16. Glaum, M., Landsman, W. R., & Wyrwa, S. Goodwill impairment: the effects of public enforcement and monitoring by institutional investors//The Accounting Review. -2018.- Vol.93(6). - P.149-180. DOI 10.2308/accr-52006

17. Gros M., Koch S. Discretionary goodwill impairment losses in Europe // Journal of Applied Accounting Research. -2019. - Vol.21(1).-P 106-124. DOI 10.1108/JAAR-03-2018-0039.

18. Hong P. K., Paik D. G., Smith, J. V. D. L. A study of long-lived asset impairment under U.S. GAAP and IFRS within the U.S. institutional environment // Journal of International Accounting, Auditing and Taxation. -2018. -Vol.31. -P.74-89. DOI 10.1016/j.intaccaudtax.2018.05.001.

19. Cheng Y., Peterson D., Sherrill K. Admitting mistakes pays: the long-term impact of goodwill impairment write-offs on stock prices // Journal of Economics and Finance. -2017. -Vol.41. -P.311-329. DOI 10.1007/s12197-015-9349-z.

20. Ferramosca S., Allegrini M. Impairment or amortization of goodwill? An analysis of CFO perceptions of goodwill accounting // European Management Journal. -2021. -Vol.39(6). - P.816-828. DOI 10.1016/j.emj.2021.03.001.

21. Johnson P. M., Lopez T. J., Sorensen T. L. Did SFAS 141/142 improve the market's understanding of net assets, goodwill, or other intangible assets? // Review of Quantitative Finance and Accounting. -2021.-Vol.56.-P 891-915. DOI 10.1007/s11156-020-00912-x.

22. Kabir H., Su L., Rahman A. Firm life cycle and the disclosure of estimates and judgments in goodwill impairment tests: evidence from Australia // Journal of Contemporary Accounting and Economics. -2020. -Vol 16(3): 100207. DOI 10.1016/j.jcae.2020.100207.

23. Kim S., Bay D. Cognitive dissonance as an explanation of goodwill write-offs // Journal of Behavioral Finance. -2017.- Vol.18(1). -P 14-28. DOI 10.1080/15427560.2017.1274755.

24. Schatt A., Doukakis L., Bessieux-Ollier C., Walliser E. Do goodwill impairment by European firms provide useful information to investors? // Accounting in Europe. -2016. –Vol.13(3). –P.307-327. DOI 10.1080/17449480.2016.1254348.

25. Sun L. Managerial ability and goodwill impairment // Advances in Accounting. -2016. –Vol.32. -P 42-51. DOI 10.1016/j.adiac.2016.02.002.

26. 3-Халықаралық қаржы есептілігінің стандарты
«Бизнес бірлестіктері». URL:https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31248040. -Қаралған күні: 15.01.2025.

27. 36-шы Халықаралық Қаржылық Есептілік Стандарты (IAS 36)
Активтердің құнсыздануы. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31248040. -Қаралған күні: 15.01.2025.

References

1. Abdul J.M. Audit committee independence and a contracting perspective on goodwill

impairment // Singaporean evidence. Business: Theory and Practice. -2017. -Vol.18. -P.128-135 DOI 10.3846/btp.2017.013.

2. Korosec B., Jerman M., Tominc P. The impairments test of goodwill: an empirical analysis of incentives for earnings management in Italian publicly traded companies // Economic Research-Ekonomska Istrazivanja. -2016. -Vol.29(1).- P 162-176. DOI 10.1080/1331677X.2016.1164923.

3. Mazzi F., André P., Dionysiou D., Tsalavoutas I. Compliance with goodwill-related mandatory disclosure requirements and the cost of equity capital // Accounting and Business Research. -2017. -Vol.47(3). -P 268-312. DOI 10.2139/ssrn.2464154.

4. Sapkauskiene A., Leitoniene S., Vainiusiene E. Disclosure of goodwill impairment in the Baltic States // Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics. -2016.- Vol.27(4). -P 417-429. DOI 10.5755/j01.ee.27.4.15360.

5. Al-Hiyari A., Latif R.A., Amran N.A. The value relevance of purchase goodwill in Malaysian firms: the pre- and post-IFRS evidence // International Journal of Business Research. -2016. - Vol.16(3). -P 69-80. DOI 10.18374/IJBR-16-3.5.

6. Alshehabi A., Georgiou G., Ala S. A. Country-specific drivers of the value relevance of goodwill impairment losses//Journal of International Accounting, Auditing and Taxation. -2021. - Vol.43: 100384. DOI 10.1016/j.intaccaudtax.2021.100384.

7. Burger M., Wen H. The relative and incremental value relevance of goodwill before and after SFAS No.142//Journal of Accounting and Public Policy. -2021. -Vol.40(6): 106906. DOI 10.1016/j.jaccpubpol.2021.106906

8. Carvalho C., Rodrigues A. M., Ferreira C. Goodwill and mandatory disclosure compliance: a critical review of the literature // Australian Accounting Review. -2016. -Vol 26(4). -P.379-389. DOI 10.1111/auar.12129.

9. Amel-Zadeh A., Glaum M., Sellhorn T. Empirical goodwill research: insights, issues, and implications for standard setting and future research // European Accounting Review. -2021.-Vol.32. - P 1-32. DOI 10.1080/09638180.2021.1983854.

10. Amorós A., & Cavero, J. A. The economic effects of IFRS goodwill reporting // Australian Accounting Review. -2018.- 86(28).- 309-322 p. DOI 10.1111/auar.12200

11. Bepari Md. K., Mollik A. T. Regime change in the accounting for goodwill: goodwill write-offs and the value relevance of older goodwill//International Journal of Accounting & Information Management. -2017.- 25(1).-P 43-69. DOI 10.1108/IJAIM-02-2016-0018.

12. Chen V. Y. S., Keung E. C., Lin I-M. Disclosure of fair value measurement in goodwill impairment test and audit fees//Journal of Contemporary Accounting and Economics. -2019. -Vol.15(3): 100160. DOI 10.1016/j.jcae.2019.100160.

13. Ferramosca S., Greco G., Allegrini M. External audit and goodwill write-off // Journal of Management and Governance. -2017. -Vol. 21(4).-P.907-934. DOI 10.1007/s10997-016-9369-x.

14. Financial Accounting Standards Board Identifiable intangible assets and subsequent accounting for goodwill project/ IASB Joint Education Meeting FASB Agenda Ref 18A. -2021. URL: https://www.ifrs.org/content/dam/ifrs/meetings/2021/july/iasb-fasb/ap18a-identifiable-intangible-assets-and-subsequent-accounting-for-goodwill.pdf. - Date of access: 15.01.2025.

15. Frii P., Hamberg, M. What motives shape the initial accounting for goodwill under IFRS 3 in a setting dominated by controlling owners? // Accounting in Europe. -2021.- 18(2). -P.218-248. DOI

10.1080/17449480.2021.1912369.

16. Glaum, M., Landsman, W. R., & Wyrwa, S. Goodwill impairment: the effects of public enforcement and monitoring by institutional investors//The Accounting Review. -2018.- Vol.93(6). -P.149-180. DOI 10.2308/accr-52006

17. Gros M., Koch S. Discretionary goodwill impairment losses in Europe // Journal of Applied Accounting Research. -2019. –Vol.21(1).-P 106-124. DOI 10.1108/JAAR-03-2018-0039.

18. Hong P. K., Paik D. G., Smith, J. V. D. L. A study of long-lived asset impairment under U.S. GAAP and IFRS within the U.S. institutional environment // Journal of International Accounting, Auditing and Taxation. -2018. -Vol.31. -P.74-89. DOI 10.1016/j.intaccaudtax.2018.05.001.

19. Cheng Y., Peterson D., Sherrill K. Admitting mistakes pays: the long-term impact of goodwill impairment write-offs on stock prices // Journal of Economics and Finance. -2017. -Vol.41. - P.311-329. DOI 10.1007/s12197-015-9349-z.

20. Ferramosca S., Allegrini M. Impairment or amortization of goodwill? An analysis of CFO perceptions of goodwill accounting // European Management Journal. -2021. -Vol.39(6). -P.816-828. DOI 10.1016/j.emj.2021.03.001.

21. Johnson P. M., Lopez T. J., Sorensen T. L. Did SFAS 141/142 improve the market's understanding of net assets, goodwill, or other intangible assets? // Review of Quantitative Finance and Accounting. -2021.-Vol. 56. -P 891-915. DOI 10.1007/s11156-020-00912-x.

22. Kabir H., Su L., Rahman A. Firm life cycle and the disclosure of estimates and judgments in goodwill impairment tests: evidence from Australia // Journal of Contemporary Accounting and Economics. -2020. -Vol 16(3): 100207. DOI 10.1016/j.jcae.2020.100207.

23. Kim S., Bay D. Cognitive dissonance as an explanation of goodwill write-offs // Journal of Behavioral Finance. -2017.- Vol.18(1). -P 14-28. DOI 10.1080/15427560.2017.1274755.

24. Schatt A., Doukakis L., Bessieux-Ollier C., Walliser E. Do goodwill impairment by European firms provide useful information to investors? // Accounting in Europe. -2016. -Vol.13(3). -P.307-327. DOI 10.1080/17449480.2016.1254348.

25. Sun L. Managerial ability and goodwill impairment // Advances in Accounting. -2016. -Vol.32. -P 42-51. DOI 10.1016/j.adiac.2016.02.002.

26. 3-Halykaralyk karzhy eseptiliginin standarty «Biznes birlestikteri». URL:https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31248040. -Date of access: 15.01.2025.[in Kazakh]

27. 36-shy Halykaralyk Karzhylyk Eseptilik Standarty (IAS 36). Aktivterdin kunsyzdanuy. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31248040. -Date of access: 15.01.2025. [in Kazakh]

Авторлар туралы мәліметтер

Рейдолда С. - аға оқытушы, магистр, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Казақстан, e-mail: Saulegul0408@gmail.com;

Ерниязов Р.А. - экономика ғылыми кандидаты, қауымдастырылған профессор (доцент), Қ.Құлажанов атындағы Казақ технология және бизнес университеті, Астана, Казақстан, e-mail: erniyazov_rust@mail.ru;

Алпысбаева А.К. - экономика ғылыми кандидаты, қауымдастырылған профессор (доцент), Қ. Құлажанов атындағы Казақ технология және бизнес университеті, Астана, Казақстан, e-mail: alpysbayeva.ainur77@mail.ru;

Жуматаева Б.А. - PhD, қауымдастырылған профессор (доцент), Қ.Құлажанов атындағы Казақ технология және бизнес университеті, Астана, Казақстан, e-mail: bahyt_jumataeva@mail.ru;

Юсупов У.Б. - PhD, қауымдастырылған профессор (доцент), Қ.Құлажанов атындағы Казақ технология және бизнес университеті, Астана, Казақстан, e-mail: Nusup86@mail.ru;

Кабиева А.Т. - PhD, қауымдастырылған профессор (доцент), Қ.Құлажанов атындағы Казақ технология және бизнес университеті, Астана, Казақстан, e-mail: Asem_kt_1985@mail.ru.

Information about the authors

Reidolda S - Senior teacher, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: Saulegul0408@gmail.com;

Yerniyazov R.A. - candidate of economic sciences, associate professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: erniyazov_rust@mail.ru;

Alpysbayeva A. - candidate of Economic Sciences, Associate professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: alpysbayeva.ainur77@mail.ru;

Zhumataeva B. - PhD of Economic Sciences, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: bahyt_jumataeva@mail.ru;

Yusupov Y.B. - PhD of Economic Sciences, Professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: Nusup86@mail.ru;

Kabiyeva A.T. - PhD of Economic Sciences, Associate professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: Asem_kt_1985@mail.ru.

МРНТИ 06.52.13 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1114**

ECONOMIC EFFICIENCY OF IMPLEMENTING INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN AGRICULTURAL ENTERPRISES: INTERNATIONAL EXPERIENCE AND A MODEL FOR KAZAKHSTAN

[1]A. Bektaev, [1]G. Saparova, [2]M. Raikhan, [1]A. Atyzova, [3]S. Bespalyy, [1]B. Serikbayeva

[1]Turan-Astana University, Astana, Kazakhstan?
[2]Republican Research Institute for Occupational Safety, Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan,
[3]Toraygyrov University, Pavlodar, Kazakhstan

Corresponding author: bektaev_alibek@mail.ru, asel_ramazanova@bk.ru

This article presents a comprehensive assessment of the economic efficiency of implementing innovative technologies in the agricultural sector, based on a systematic analysis of international practices and the development of an adaptive model for the Republic of Kazakhstan.

The study focuses on agricultural enterprises in seven countries with varying levels of innovation-namely, the United States, the Netherlands, Israel, Germany, China, India, and Brazil-during the period from 2018 to 2024. A comparative analysis revealed substantial disparities in innovation adoption rates: 75-85% in developed countries, 30-50% in developing economies, and less than 5% in Kazakhstan.

A strong positive correlation was established between the level of innovation activity and key economic performance indicators, including labor productivity, return on investment (ROI), and export competitiveness. For instance, ROI in the Netherlands reaches 300%, whereas in Kazakhstan it remains at only 80%.

The study identifies essential institutional, technological, and organizational determinants for successful innovation adoption, such as the effective integration of science, business, and government; the presence of innovation infrastructure; availability of qualified human capital; access to financing mechanisms; and export-oriented strategies.

A diagnostic analysis of Kazakhstan's agricultural sector reveals significant institutional and infrastructural constraints, including inefficient allocation of state support (with a predominance of direct subsidies), weak science-industry cooperation, and limited access to advanced agro-technologies.

In response to these challenges, a five-component innovation development model is proposed, comprising institutional, technological, financial, educational, and infrastructural modules. The model outlines a phased implementation mechanism with measurable indicators of progress and emphasizes the importance of fostering public-private partnerships.

Forecasts for the model's implementation by 2033 indicate the potential to increase the share of innovation-active enterprises to 40%, boost labor productivity by 150-200%, reduce production costs by 20-30%, and double or triple agricultural exports.

The study contributes to the literature on agricultural economics by offering a systematic framework for innovation-driven development in emerging agricultural economies.

Keywords: agricultural innovation, economic efficiency, technology adoption, productivity growth, Kazakhstan agriculture, international experience, innovation model, agricultural modernization, sustainable development, agribusiness transformation.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АГРАРНЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ: МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ И МОДЕЛЬ ДЛЯ КАЗАХСТАНА

[1]А.К. Бектаев, [1]Г.К. Сапарова, [2]М.С. Райхан, [1]А.Ж. Атызова, [3]С.В. Беспалый, [1]Б.М. Серикбаева

[1]Университет Turan-Astana, Астана, Казахстан,

[2]Республиканский научно-исследовательский институт охраны труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан, Астана, Казахстан,
[3]Университет им. Торайгырова, Павлодар, Казахстан,
e-mail: bektaev_alibek@mail.ru, asel_ramazanova@bk.ru

В данной статье представлен комплексный анализ экономической эффективности внедрения инновационных технологий в аграрном секторе, основанный на систематическом анализе международной практики и разработке адаптивной модели для Республики Казахстан.

Исследование охватывает сельскохозяйственные предприятия семи стран с различным уровнем инновационного развития - а именно, США, Нидерландов, Израиля, Германии, Китая, Индии и Бразилии в период с 2018 по 2024 годы.

Сравнительный анализ выявил существенные различия в уровнях внедрения инноваций: 75-85% в развитых странах, 30-50% - в развивающихся экономиках, и менее 5% - в Казахстане. Установлена прочная положительная корреляция между уровнем инновационной активности и ключевыми показателями экономической результативности, включая производительность труда, рентабельность инвестиций (ROI) и экспортную конкурентоспособность. Так, ROI в Нидерландах достигает 300%, тогда как в Казахстане он составляет лишь 80%.

В исследовании выявлены ключевые институциональные, технологические и организационные детерминанты успешного внедрения инноваций, такие как эффективная интеграция науки, бизнеса и государства; наличие инновационной инфраструктуры; доступ к квалифицированным человеческим ресурсам; наличие механизмов финансирования; а также экспортно-ориентированные стратегии.

Диагностический анализ аграрного сектора Казахстана выявил серьёзные институциональные и инфраструктурные ограничения, включая неэффективное распределение государственной поддержки (с преобладанием прямого субсидирования), слабое взаимодействие науки и промышленности, а также ограниченный доступ к передовым агротехнологиям.

В ответ на данные вызовы предложена пятикомпонентная модель инновационного развития, включающая институциональный, технологический, финансовый, образовательный и инфраструктурный модули. Модель предусматривает поэтапный механизм реализации с измеримыми индикаторами прогресса и подчёркивает важность формирования государственно-частного партнёрства.

Прогнозы по реализации модели к 2033 году указывают на возможность увеличения доли инновационно-активных предприятий до 40%, роста производительности труда на 150-200%, снижения издержек производства на 20-30%, а также удвоения или утроения объёмов аграрного экспорта.

Настоящее исследование вносит вклад в научную литературу по экономике сельского хозяйства, предлагая системный подход к инновационно-ориентированному развитию аграрных отраслей в странах с формирующейся экономикой.

Ключевые слова: аграрные инновации, экономическая эффективность, внедрение технологий, рост производительности, сельское хозяйство Казахстана, международный опыт, модель инновационного развития, модернизация сельского хозяйства, устойчивое развитие, трансформация агробизнеса.

ЭКОНОМИКАЛЫҚ ТИІМДІЛІК АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ КӘСІПОРЫНДАРЫНА ИННОВАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ЕНГІЗУ: ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ТӘЖІРИБЕ ЖӘНЕ ҚАЗАҚСТАНҒА АРНАЛҒАН МОДЕЛЬ

[1]А.К. Бектаев, [1]Г.К. Сапарова, [2]М.С. Райхан, [1]А.Ж. Атызова, [3]С.В Беспалый, [1]Б.М. Серикбаева
[1]Turan-Astana университеті, Астана, Қазақстан,
[2]Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбек қауіпсіздігі жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты, Астана, Қазақстан,

[3]Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан,
e-mail: bektaev_alibek@mail.ru, asel_ramazanova@bk.ru

Бұл мақалада аграрлық секторға инновациялық технологияларды енгізудің экономикалық тиімділігіне кешенді талдау ұсынылған. Зерттеу халықаралық тәжірибені жүйелі талдау мен Қазақстан Республикасына бейімделген үлгі әзірлеуге негізделген.

Зерттеу 2018-2024 жылдар аралығында инновациялық даму деңгейі әртүрлі жеті елдің - АҚШ, Нидерланд, Израиль, Германия, Қытай, Үндістан және Бразилияның ауыл шаруашылығы кәсіпорындарын қамтиды.

Салыстырмалы талдау нәтижесінде инновацияларды енгізу деңгейлерінде елеулі айырмашылықтар анықталды: дамыған елдерде - 75-85%, дамушы экономикада - 30-50%, ал Қазақстанда - 5%-дан төмен. Инновациялық белсенділік деңгейі мен экономикалық нәтижеліліктің негізгі көрсеткіштері - еңбек өнімділігі, инвестициялардың рентабельдігі (ROI) және экспорттық бәсекеге қабілеттілік арасында берік оң корреляция орнатылды. Мысалы, Нидерландта ROI 300%-ға жетсе, Қазақстанда ол небәрі 80%-ды құрайды.

Зерттеу барысында инновацияларды табысты енгізудің негізгі институционалдық, технологиялық және ұйымдастырушылық детерминанттары анықталды. Оларға ғылым, бизнес және мемлекеттің тиімді интеграциясы; инновациялық инфрақұрылымның болуы; білікті адами ресурстарға қол жеткізу; қаржыландыру тетіктерінің болуы; сондай-ақ экспортқа бағытталған стратегиялар жатады.

Қазақстанның аграрлық секторының диагностикалық талдауы институционалдық және инфрақұрылымдық шектеулерді көрсетті, атап айтқанда: мемлекеттік қолдаудың тиімсіз бөлінуі (тікелей субсидиялаудың басым болуы), ғылым мен өндіріс арасындағы өзара іс-қимылдың әлсіздігі, сондай-ақ озық агротехнологияларға қол жеткізудің шектеулілігі.

Аталған сын-қатерлерге жауап ретінде институционалдық, технологиялық, қаржылық, білім беру және инфрақұрылымдық модульдерді қамтитын бес компонентті инновациялық даму үлгісі ұсынылды. Үлгі кезең-кезеңімен іске асыру тетіктерін және прогресті өлшейтін индикаторларды қарастырады, сондай-ақ мемлекеттік-жекеменшік әріптестіктің маңыздылығын айқындайды.

Модельді 2033 жылға дейін іске асыру болжамдары инновациялық белсенді кәсіпорындар үлесін 40%-ға дейін арттыруға, еңбек өнімділігін 150-200%-ға өсіруге, өндіріс шығындарын 20-30%-ға қысқартуға және аграрлық экспорт көлемін екі-үш есеге ұлғайтуға мүмкіндік бар екенін көрсетеді.

Бұл зерттеу ауыл шаруашылығы экономикасы бойынша ғылыми әдебиетке үлес қосып, қалыптасып келе жатқан экономикалардағы аграрлық салаларды инновациялық бағытта дамытуға жүйелі көзқарасты ұсынады.

Түйін сөздер: аграрлық инновациялар, экономикалық тиімділік, технологияларды енгізу, еңбек өнімділігінің өсуі, Қазақстан ауыл шаруашылығы, халықаралық тәжірибе, инновациялық даму үлгісі, ауыл шаруашылығын жаңғырту, орнықты даму, агробизнестің трансформациясы.

Introduction. The contemporary stage of agro-industrial complex (AIC) development is marked by the growing role of innovative technologies that drive productivity, sustainability, and competitiveness in agriculture. In the context of global challenges including climate change, population growth, and geopolitical instability-the transition to innovation-based models of crop and livestock production becomes a key factor in ensuring food security and economic growth. This issue is especially relevant for the Republic of Kazakhstan, where agriculture remains a strategically important sector of the economy, providing rural employment, export potential, and regional sustainability.

In recent years, Kazakhstan has shown an

active commitment to modernizing its AIC through the adoption of advanced technologies. In crop production, this is reflected in the use of precision farming, satellite monitoring, automated irrigation systems, and digital platforms for enterprise management. In livestock production, key innovation areas include genomic selection technologies, automated feeding and health monitoring systems, and the development of smart farms. Government support is provided through programs such as «Digital Kazakhstan», «Agrobusiness-2025» and the «National Agro-Industrial Development Project», which include subsidies for technological upgrades, concessional lending, and the development of agricultural science.

Nevertheless, despite ongoing efforts, the level of innovation adoption within Kazakhstan's AIC remains uneven. Large agroholdings are actively investing in modern technologies and demonstrating high economic efficiency, while small and medium-sized farms face significant barriers such as high implementation costs, a shortage of qualified personnel, and insufficient infrastructural support. Moreover, a dependency on imported technologies and equipment persists, limiting the sector's sustainable development potential. In this context, a comprehensive analysis of the economic effectiveness of innovative technologies in Kazakhstan's crop and livestock sectors holds both academic and practical importance.

Amid growing challenges related to food security and climate change, the innovative development of the agro-industrial sector becomes a strategic priority for national policy and research agendas. This is especially critical for Kazakhstan, where agriculture plays a pivotal role in domestic market provision and export development but struggles with low productivity, limited access to modern technologies, and stark regional disparities.

Numerous national and international scholars have addressed various aspects of innovation in agriculture. Contributions to the methodology for analyzing AIC economic development are found in the works of Daribayeva A.K., Shulenbayeva F., and Bauer M. [1]. Recent scientific discourse, especially against the backdrop of global technological advancement, increasingly underscores the urgency of innovation-led transformation in agriculture. While modern agricultural enterprises are becoming active agents in innovation, Clancy M.S., Moschini G., and Heisey P. note that the sector largely depends on external sources of technology and knowledge due to its relatively low internal innovative capacity [2].

Similarly, Bjerke L. and Johansson S. emphasize that the geographic isolation of agricultural enterprises from urban and scientific hubs limits their access to innovation infrastructure and resources [3]. Andrade D., Pasini F., and Scarano F.R. argue that in countries prioritizing high-tech sectors (e.g., IT, biomedicine, aerospace), agriculture often falls outside the scope of national innovation policies [4].

Contemporary research emphasises the importance of socio-technical innovation packages for the transformation of agri-food systems. Barrett C.B., Benton T., Fanzo J. and colleagues argue that successful agricultural modernisation requires a comprehensive approach that combines technological, institutional and social innovations [5]. This approach is particularly relevant for developing economies, where, as Swinnen J. and Kuijpers R. note, inclusive value chains can significantly accelerate poverty reduction and increase agricultural productivity [6].

This observation is particularly relevant for Kazakhstan: despite isolated cases of innovation in crop and livestock production, the agricultural sector as a whole remains under-attractive for investors (Talymova L.A., Zhukenov B.M., Akenov S.Sh., et al.) [7]. Baudron F. and Liégeois F. warn that neglecting the innovation vector may lead to deteriorating food security, increased environmental stress, and declining international competitiveness [8].

According to Campos H. and Żak A., the need for agricultural innovation today is driven not only by the imperative to increase productivity but also by shrinking land and labor resources, especially amid rapid urbanization [9,10]. Innovations represent the

only viable mechanism for compensating these losses.

Significant attention in contemporary literature is devoted to digitalization as the primary vector of agricultural innovation. It is viewed as a strategic enabler of production transformation, management efficiency, and market integration (Abraliyev O.A., Sugirova G.S., Velesco S.; Kaldiyarov D.A., Kalymbekova Zh.K., Zhumanazarov K.B.; Shaynurov A.S., Smagulova Zh.B.) [11-13]. Digital solutions enhance farmers' capacities in planning, accounting, and resource management, as highlighted by Shogenov B.A. and Mirzoeva A.R. [14].

Moreover, the relevance of innovation is closely tied to sustainable development. Several authors emphasize that long-term competitiveness in agriculture is unattainable without environmentally responsible innovations that promote the sustainable use of natural resources (Ferreira Apal, de Oliveira L., Talamini E.; Ndaba B., Roopnarain A., Haripriya R., et al.) [15,16].

The objective of this study is to assess the economic effectiveness of innovation implementation in agricultural enterprises based on international experience and to develop an adapted model for Kazakhstan. To achieve this, the study addresses the following tasks:

-conduct a comparative analysis of innovation implementation in the agricultural sectors of seven leading countries (USA, Netherlands, Israel, Germany, China, India, Brazil) for the period 2018-2024;

- identify key success factors determining the economic efficiency of innovation adoption in agriculture;

- assess the current status and challenges of innovation diffusion in Kazakhstan's agricultural enterprises;

- develop a model for innovation implementation in Kazakhstan's agricultural sector based on international experience and national specificities;

- propose a methodology for evaluating economic efficiency and forecasting the potential outcomes of the proposed model.

The scientific novelty of the study lies in the development of a comprehensive model for innovation deployment in Kazakhstan's agricultural sector, based on a systematic analysis of international experience and adaptation of best practices to local conditions. The proposed model accounts for economic, social, environmental, and institutional dimensions of innovation, ensuring its comprehensiveness and practical applicability.

Thus, the innovative transformation of Kazakhstan's agro-industrial complex is not merely desirable but strategically imperative. Global experience confirms that only the systemic adoption of advanced agritechnologies can ensure the sustainable growth and resilience of the sector.

Methodology and Materials. The methodological basis of this study is a systematic approach, within which the process of introducing innovative technologies in the agricultural sector is viewed as a complex multi-level system comprising interrelated economic, technological, institutional and social components. This approach provides a comprehensive understanding of the phenomenon under study and helps to identify sustainable patterns that influence the effectiveness of innovations in agriculture.

The comparative analysis is based on a multi-criteria evaluation system that includes the following key indicators: the level of innovation adoption, expressed as a percentage of enterprises using innovative technologies; return on investment (ROI), calculated using a modified formula that incorporates sustainable development factors; labour productivity index with a base value of 2018 taken as 100%; investment intensity, measured as a share of gross domestic product in agriculture.

The data collection and processing procedure was carried out in accordance with a structured protocol comprising five consecutive stages. The first stage involved the selection of primary data sources from the official databases of international organisations - the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), the Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO) and the World Intellectual Property Organisation (WIPO). The second stage involved

validating the data obtained by cross-checking it with information from the national statistical services of the countries under study. The third stage involved analysing time series based on annual data for the period 2018-2024. The fourth stage involved the application of statistical methods, in particular Pearson' s correlation analysis, in which a correlation coefficient of r > 0.7 was interpreted as an indicator of a strong relationship. In the final fifth stage, forecast models were developed based on linear regression with a 95% confidence interval.

According to the latest report by the Asian Development Bank, digital transformation in Central Asian agriculture shows significant potential for increasing productivity, with Kazakhstan identified as the country with the greatest potential for technological breakthroughs in the region [17]. This confirms the need to intensify investment in the innovative development of the industry.

The study used both general scientific methods (analysis, synthesis, comparison, generalisation) and specialised methods of economic research, including statistical analysis, econometric modelling and graphical data visualisation. The comprehensive application of these methods ensured the scientific validity and reproducibility of the results obtained.

Results and discussion. An analysis of international experience indicates that over the past 20 years, developing economies have become the primary drivers of global agricultural market growth-a trend expected to continue into the next decade. The increase in agricultural product consumption is mainly driven by population growth and rising incomes in low- and middle-income countries.

According to the OECD-FAO Agricultural Outlook 2024-2033, China's influence on global food consumption is declining, with its share in global consumption growth projected to decrease from 28% in the previous decade to 11% in the next. In contrast, India and Southeast Asian countries are expected to account for 31% of global consumption growth by 2033.

A key trend is that the increase in crop production will primarily result from productivity gains on existing agricultural lands, rather than expansion of cultivated areas. A significant portion of growth in the livestock and fisheries sectors will also stem from increased productivity. However, despite expected productivity gains-especially in low- and middle-income countries-substantial productivity gaps will persist, posing challenges to farm incomes and food security.

From an environmental sustainability perspective, the intensity of greenhouse gas emissions in agriculture is expected to decline. Nevertheless, direct emissions from the agricultural sector are projected to rise by 5% in absolute terms. Halving food loss by 2030 could potentially reduce global agricultural emissions by 4%.

For the comparative analysis, seven countries were selected that represent various regions of the world and demonstrate successful practices in implementing innovative technologies in agriculture: The United States, Netherlands, Israel, Germany, China, India, and Brazil. These countries were chosen due to their leading positions in different aspects of agricultural innovation and their diverse approaches to innovation implementation.

An analysis of data from 2018 to 2024 reveals significant differences in the levels of innovation adoption across the agricultural sectors of the studied countries [18 - 20] (Fig.1).

As can be seen from the data presented in Figure 1, the highest level of innovation technology adoption in the agricultural sector in 2024 is recorded in developed countries. The Netherlands leads the way with 85%, followed by the United States (80%) and Israel and Germany (75% each). These figures reflect a high degree of technological maturity and a sustainable investment policy in the field of agricultural innovation.

In countries with dynamically developing economies, the level of innovation implementation varies at an average level: China demonstrates an indicator of 50%, India - 40%, and Brazil - 30%. This indicates a gradual but purposeful movement of these countries towards the technological modernisation of agriculture.

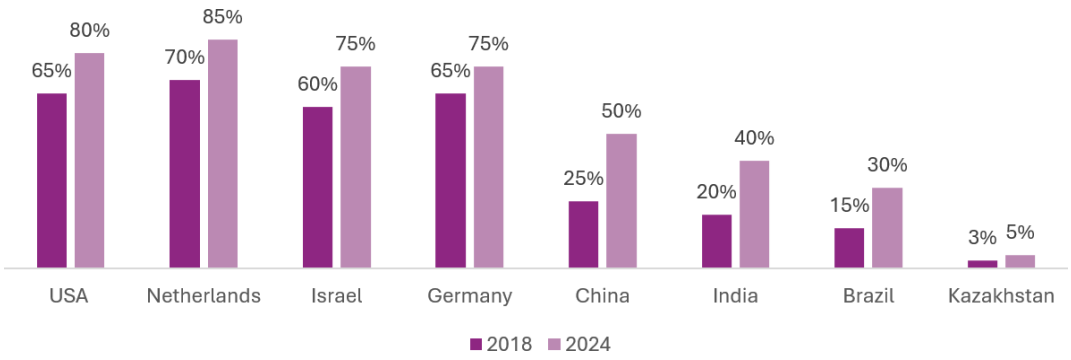


Fig.1 - Level of innovation technology adoption in the agricultural sector (2018-2024)

Kazakhstan, in turn, lags significantly behind both developed and rapidly developing countries: the level of implementation of innovative solutions in the agricultural sector was only 5% in 2024. This indicator points to a significant lag, requiring systematic measures of state support and stimulation of technological development in the industry.

Despite varying levels of involvement, all countries surveyed show positive dynamics in the period from 2018 to 2024. The most pronounced growth rates are observed in China (an increase of 25 percentage points) and India (+20%), which indicates the implementation of active government policies aimed at introducing innovative solutions into agricultural production. At the same time, growth in Kazakhstan was only 2%, which may be due to institutional, financial and human resource barriers to technological modernisation of the agro-industrial complex.

The economic efficiency of introducing innovative technologies, measured by the return on investment (ROI) indicator, also varies significantly between countries [19,21] (Fig.2).

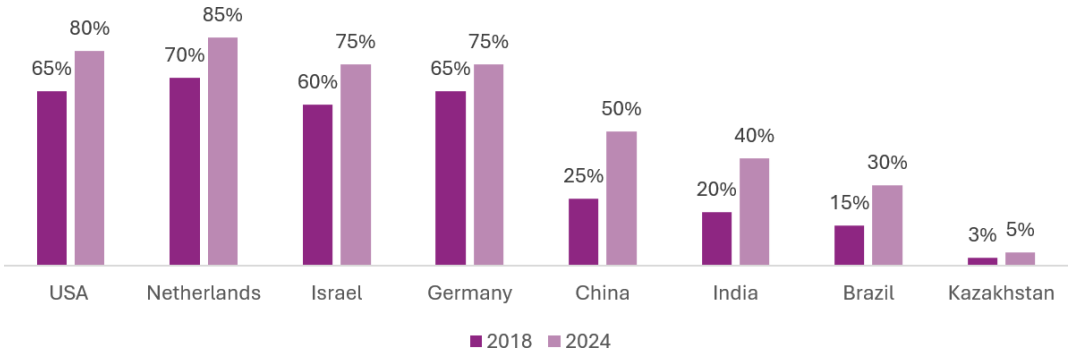


Fig.2 - Economic Efficiency of Innovations in the Agricultural Sector (2018-2024)

According to the data presented, the highest rates of return on investment in innovation in the agricultural sector in 2024 were recorded in the Netherlands (300%), the United States and Germany (280% each), and Israel (270%). These figures indicate the high effectiveness of innovation policy and a developed technology transfer system in these countries.

Countries with rapidly developing economies show moderate levels of return: China - 180%, India - 150%. These indicators reflect the positive effect of investments in technological modernisation and the introduction of advanced solutions, accompanied by an increase in agricultural productivity.

Relatively low profitability values are observed in Brazil (120%) and Kazakhstan (80%). Despite the positive dynamics, these values indicate

insufficient effectiveness in realising the innovative potential in the agricultural sector of these countries, which may be due to structural constraints, weak institutional support and limited access to advanced technologies.

During the period 2018-2024, all countries analysed demonstrated growth in the return on investment in innovation, which indicates an increase in the effectiveness of the technologies being implemented and an improvement in the conditions for their application. The most significant increase in indicators was recorded in India and China, at +60 percentage points. This is due to the active development of innovation infrastructure, growth in investment in scientific research, and improvements in the quality of the solutions being implemented. In Kazakhstan, the increase was 40 percentage points, which is undoubtedly a positive shift. Nevertheless, in absolute terms, the return on investment remains low, which requires further systematic efforts to increase the return on innovation.

The importance of government policy in stimulating innovation is confirmed by the experience of Kazakhstan, where the National Project for the Development of the Agro-Industrial Complex for 2021-2025 provides for the allocation of significant resources for the technological modernisation of the industry [22]. However, as the analysis shows, the key challenge remains the effective use of the allocated funds.

The level of investment in agricultural innovation, measured as a percentage of agricultural GDP, also varies significantly between countries [16,21] (Fig.3).

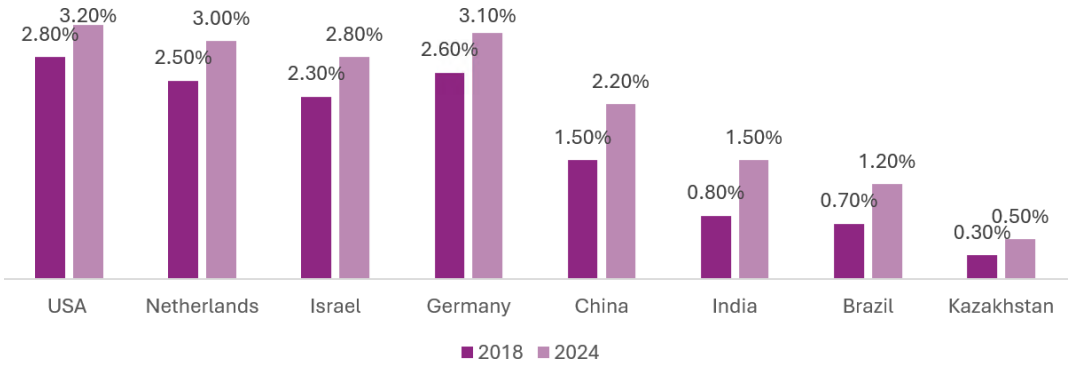


Fig.3 - Investments in agricultural innovation (2018-2024)

An analysis of the distribution of investment resources in agricultural innovation by country in 2024 allows us to identify a group of global leaders demonstrating the highest level of investment relative to gross domestic product in agriculture. Thus, in the United States, the share of investment in agricultural innovation amounted to 3.2% of agricultural GDP, in Germany - 3.1%, in the Netherlands - 3.0%, and in Israel - 2.8%. These data reflect the sustained focus of these countries on innovation-oriented development of the agro-industrial complex, as well as the existence of effective mechanisms for financing scientific and technical developments in agriculture.

China shows a moderate level of investment - 2.2%, which nevertheless indicates a growing focus on the development of agricultural technologies as one of the priorities of state agricultural policy. India, Brazil and Kazakhstan are characterised by significantly lower indicators: 1.5%, 1.2% and 0.5%, respectively. The level is particularly low in Kazakhstan, which indicates limited funding for innovation in the agricultural sector and the existence of institutional and resource barriers.

At the same time, all countries showed growth in investment in agricultural innovation between 2018 and 2024. The most pronounced positive dynamics were recorded in China and India, where growth amounted to +0.7 percentage points. This confirms the existence of a sustainable trend

towards strengthening state support and developing innovative infrastructure in the agricultural sector. In Kazakhstan, the increase was only 0.2 percentage points, which can be regarded as insufficient progress in the context of global trends and continuing technological backwardness.

One of the key indicators of the effectiveness of innovative technology implementation is the growth of labour productivity in the agricultural sector [21,23] (Fig.4).

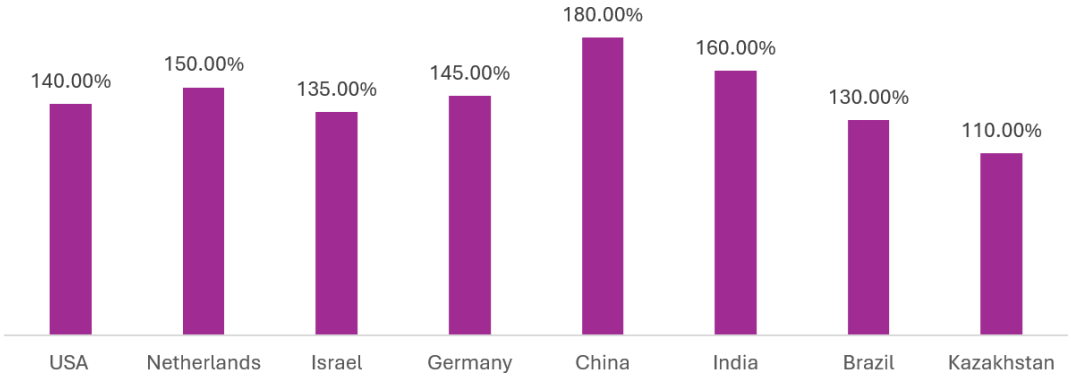


Fig.4 - Labour productivity growth in the agricultural sector (2018-2024)

The data shows that the highest growth in labour productivity for the period 2018-2024 is observed in China (180%), India (160%), the Netherlands (150%) and Germany (145%). The United States, Israel and Brazil show average figures: 140%, 135% and 130% respectively. Kazakhstan shows the lowest labour productivity growth among the countries studied - 110%.

-The base year was taken as 2018 (value = 100%).

-The labour productivity growth index for 2024 was calculated for each country.

-Labour productivity was measured as the volume of agricultural production per worker.

It is important to note that there is a direct correlation between the level of innovation technology adoption and labour productivity growth (Fig.5).

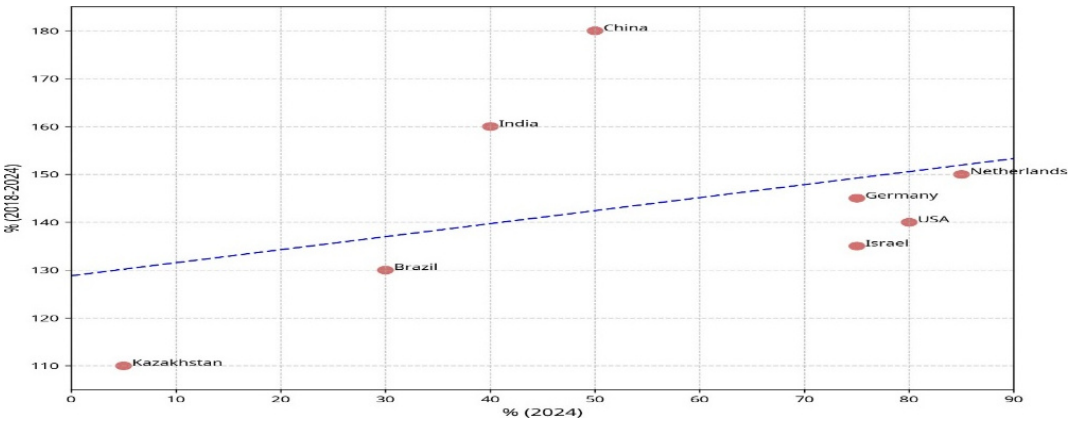


Fig.5 - Level of Innovation Implementation in 2018-2024 (%)

As can be seen in Figure 5, countries with higher levels of innovation adoption tend to demonstrate higher labour productivity growth. However, there are exceptions: China and India show higher productivity growth with average levels of innovation adoption, which may be due to

the «low base» effect and higher growth potential in these countries.

The choice of a grain-producing enterprise for testing the model is determined by the priorities of the National Project for the Development of the Agro-Industrial Complex, where grain production is identified as one of the key areas for the introduction of innovative technologies [20].

Based on an analysis of international experience, the following key factors can be identified that determine the successful implementation of innovative technologies in the agricultural sector:

Integration of science, business and government. The most successful examples of innovation implementation are observed in countries where effective interaction between scientific organisations, agricultural enterprises and government structures has been established. A striking example is the Netherlands, where Wageningen University and Research Centre closely cooperates with farmers and agribusinesses with the support of the state [18].

Developed infrastructure and innovation ecosystem. Countries that are leaders in innovation implementation (the United States, Germany, the Netherlands) are characterised by a developed innovation infrastructure, including research centres, technology parks, incubators, demonstration farms and technology transfer centres.

Targeted state support. The successful examples of China and Israel demonstrate the importance of targeted state policies to support innovation in the agricultural sector. The key factor here is not so much the amount of support as its focus on the development of infrastructure and technologies, rather than direct subsidies [20].

The technological component includes the introduction of socio-technical innovation packages, the concept of which is detailed in the study by Klerkx L and co-authors [24]. This approach involves not simply borrowing technologies, but adapting them to local conditions, taking into account social and environmental factors.

Education and training. Countries with high levels of innovation pay particular attention to training qualified personnel for the agricultural sector. For example, Germany and the Netherlands have developed a dual education system that combines theoretical training with practical training in enterprises.

Access to financing. A developed system of financing innovative projects, including government programmes, private investment, venture capital and specialised funds, is an important factor for success. The United States leads the way in the development of venture financing in the agricultural sector [24].

Focus on exports and international competitiveness. Countries focused on agricultural exports (the Netherlands, the United States, Brazil) demonstrate a higher level of innovation, as international competition stimulates increased efficiency and product quality.

Kazakhstan’ s agricultural sector has significant potential for development thanks to its vast land resources (more than 272 million hectares of agricultural land) and favourable climatic conditions for growing various crops. However, despite this potential, the level of innovation in agriculture remains extremely low. According to a study conducted in 2024, the share of innovative technologies in Kazakhstan’ s agricultural production does not exceed 5% [18]. This is significantly lower than in developed countries (75-85%) and even in middle-income countries such as China (50%) and India (40%).

Investment in agricultural innovation in Kazakhstan accounts for only 0.5% of agricultural GDP, which is 6-7 times lower than in developed countries. At the same time, most of the state support for the agricultural sector is directed towards direct subsidies rather than infrastructure and technology development [25].

Labour productivity growth in Kazakhstan’ s agricultural sector for the period 2018-2024 was 110%, which is the lowest among the countries studied. This indicates the low efficiency of the technologies and production methods used.

The return on investment in innovation in Kazakhstan' s agricultural sector is 80%, which is significantly lower than in other countries. This is due to the inefficient use of investments, insufficient infrastructure development and low staff qualifications.

Based on an analysis of the current situation, the following main problems and barriers to the introduction of innovative technologies in Kazakhstan' s agricultural sector can be identified:

Inefficient use of state support. Most state support is directed towards direct subsidies rather than infrastructure and technology development. According to a study conducted in 2024, about 70% of state support for Kazakhstan' s agricultural sector goes to direct subsidies [25].

Kazakhstan lacks adequate infrastructure for the storage, processing and transportation of agricultural products, which leads to significant losses and reduced production efficiency.

Weak integration of science and business. The lack of effective mechanisms for interaction between scientific organisations and agricultural enterprises hinders technology transfer and innovation implementation.

The proposed model for introducing innovative technologies in Kazakhstan' s agricultural sector is based on an analysis of international experience and the adaptation of best practices, taking into account national characteristics. The model is an integrated ecosystem that combines the key elements of successful innovation implementation identified in the analysis of the experience of leading countries.

The key principles of the model are:

- systematic and comprehensive approach - interconnected development of all elements of the innovation ecosystem

- results-oriented approach - priority of economic efficiency and sustainability

- adaptability - taking into account regional characteristics and different types of farms

- phased implementation - consistent implementation with measurable results

- public-private partnership - joint efforts of the state and business

Structural components of the model.

The institutional component of the model is based on the experience of the Netherlands (integration of science, business and the state) and Israel (targeted state support). Proposed measures include:

- creation of a National Centre for Agricultural Innovation based on the model of Wageningen University (Netherlands);

- formation of regional innovation clusters with the participation of universities, research centres and agribusiness;

- reorientation of state support from direct subsidies to infrastructure and technology development;

- developing a long-term strategy for innovative development of the agro-industrial complex with clear KPIs.

The technological component of the model is based on the experience of Israel (water-saving technologies), the United States (digitalisation and automation) and Germany (precision farming). The proposed measures include:

- introduction of a precision farming system adapted to the conditions of Kazakhstan;

- development of water-saving technologies (drip irrigation, soil moisture monitoring);

- creation of a digital platform for the agricultural sector with the integration of IoT, big data and AI;

- development of automation and robotics in large farms;

- introduction of smart livestock farming technologies.

The financial component of the model is based on the experience of the United States (venture capital financing) and China (government investment in innovation). The proposed measures include:

- creation of a specialised agricultural innovation fund with public and private capital;

- development of a preferential lending system for the introduction of innovative technologies;

- introduction of mechanisms for insuring

innovative risks;

- tax incentives for investments in agricultural innovation;

- development of leasing for innovative equipment and machinery.

The financial component is based on international experience in creating inclusive financial mechanisms. As demonstrated by Swinnen J. and Kuijpers R., access to finance is a critical factor for involving small and medium-sized farms in innovation processes [23].

The educational component of the model is based on the experience of the Netherlands (integration of education and practice) and Germany (dual education). The proposed measures include:

- modernisation of agricultural education with a focus on innovative technologies;

- creation of demonstration farms at agricultural universities;

- development of exchange programmes with leading agricultural universities around the worl;

- introduction of a system of continuing education for farmers and agribusiness specialists;

- creation of an online platform for training in modern agricultural technologies.

The infrastructure component of the model is based on the experience of the Netherlands (logistics infrastructure) and Brazil (export infrastructure). The proposed measures include:

- development of digital infrastructure in rural areas (broadband Internet, mobile communications);

- creation of modern logistics centres for storage and processing of products;

- modernisation of irrigation systems with the introduction of smart technologies;

- development of transport infrastructure for product exports;

- creation of a network of innovation centres for demonstrating and testing new technologies.

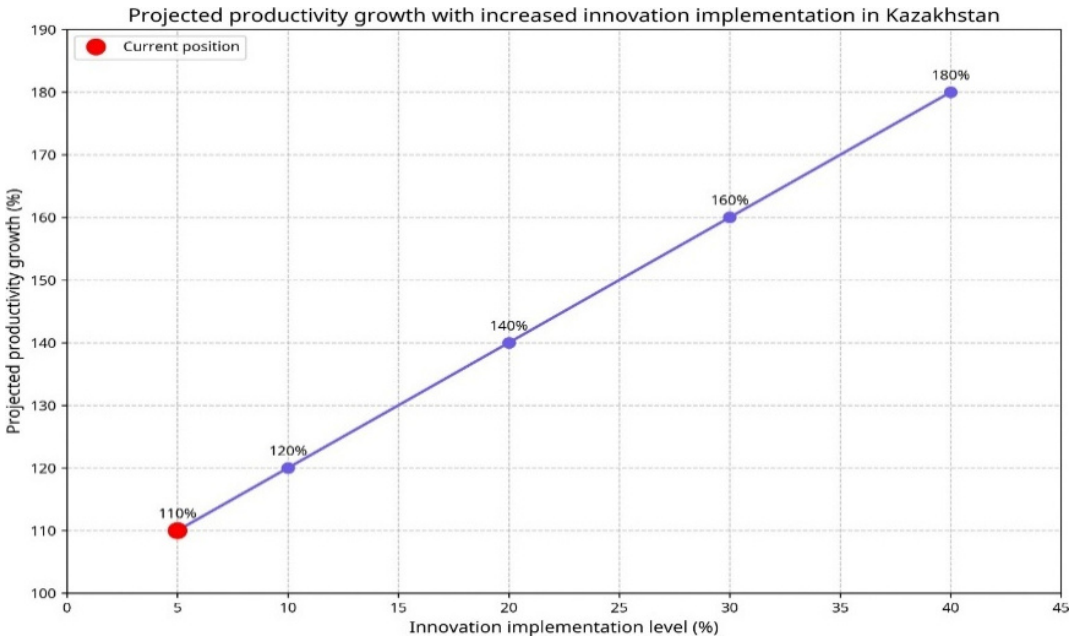


Fig. 6 - Level of innovation implementation %

Based on an analysis of international experience and the current state of Kazakhstan' s agricultural sector, the following results of the proposed model' s implementation can be predicted by 2033:

- increase in the share of enterprises implementing innovations from 5% to 40%;

- growth in labour productivity in the agricultural sector by 150-200%;

- reduction in production costs by 20-30%;

- increase in agricultural exports by 2-3 times;

- reduction in water consumption per unit of production by 30-40%;

- reduction of losses during storage and transportation by 50%;

- creation of 50-70 thousand new jobs in the high-tech agricultural sector.

The projected indicators are consistent with regional trends identified by the Asian Development Bank, according to which Central Asian countries could increase agricultural productivity by 40-60% by 2030, provided that they successfully undergo digital transformation [15].

The forecast for productivity growth with an increase in the level of innovation implementation in Kazakhstan is presented in Fig.6.

As can be seen from Fig.6, increasing the level of innovation adoption from the current 5% to 40% could lead to a 180% increase in labour productivity by 2033. This would significantly improve the competitiveness of Kazakhstani agricultural products on international markets and ensure the sustainable development of the agricultural sector.

To assess the economic efficiency of introducing innovative technologies in Kazakhstan' s agricultural sector, we propose using the following formula (1). The proposed formula for assessing return on investment is a modified approach to the traditional ROI calculation, adapted to the specifics of Kazakhstan' s agricultural sector:

$$ROI = \frac{\Delta R - \Delta C}{I} * (1 + S * E) \qquad (1)$$

where:

ΔR - revenue increment determined by the functional dependence on the technological and infrastructural components of the model;

ΔC - change in operating costs determined by the synergistic effect of the financial and educational components;

I - total investment accumulated across all five components of the model;

S is the sensitivity coefficient, set at 0.3 for Kazakhstan based on an analysis of the volatility of the agricultural sector for the period 2018-2024;

E is the external effect coefficient, estimated at 0.2 and reflecting the potential for export orientation.

The mechanism of interaction between the model components and the ROI formula parameters is characterised by the following functional dependencies:

The institutional component has a modulating effect on the sensitivity coefficient S by ensuring the stability of agricultural policy, which can change its value in the range of ±0.1. The technological component demonstrates a direct positive correlation with revenue growth ΔR, providing potential growth in the range of 20-30% with full-scale implementation. The financial component determines not only the volume of investment I, but also the weighted average cost of capital, affecting the discounting of future cash flows. The educational component contributes to a 15-20% reduction in operating costs ΔC by improving staff qualifications and optimising production processes. The infrastructure component increases the external effect coefficient E in the range of 0.1-0.3 by improving access to domestic and international markets.

To demonstrate the practical applicability of the developed model, we will calculate the economic efficiency of introducing innovative technologies using the example of a typical grain-producing farm in the Akmola region with a land bank of 5,000 hectares, specialising in wheat production.

The initial parameters of the farm at the beginning of 2024 are characterised by the following indicators: annual revenue from sales is 500 million tenge with production costs of 350 million tenge, which provides an operating profit of 150 million tenge. The planned investment in innovative technologies, including precision farming systems, satellite crop monitoring and automated equipment control, is 100 million tenge.

The projected results of the introduction of innovative technologies by 2026, based on an

analysis of international experience and adapted to the conditions of northern Kazakhstan, suggest the following dynamics: revenue growth (ΔR) will amount to 125 million tenge, which is equivalent to a 25% increase from the baseline due to higher yields and product quality; reduction in production costs (ΔC) will reach 70 million tenge, or 20% of the baseline, thanks to optimised resource use; the sensitivity coefficient (S) is assumed to be 0.3, reflecting moderate volatility in the grain market; the external effect coefficient (E) is estimated at 0.2, taking into account the potential for entering export markets.

Applying formula (1) to calculate the return on investment gives the following result:

$$ROI = \frac{125 - (-70)}{100} * (1 + 0,3 * 0,2) = \frac{195}{100} * 1,06 = 2,067$$

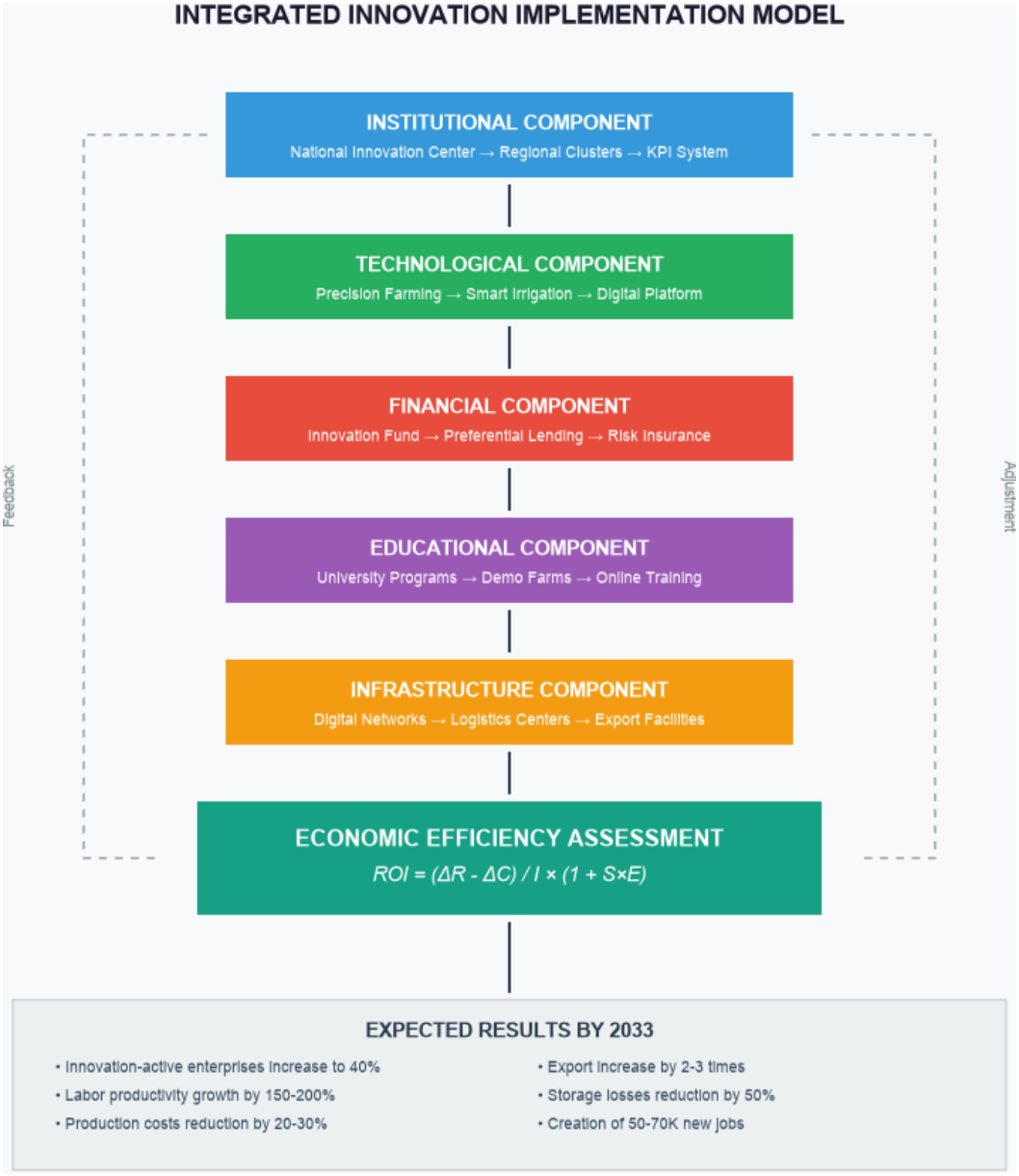


Fig.7 - Integrated model for introducing innovations in Kazakhstan' s agricultural sector

The ROI value of 206.7% indicates the high economic efficiency of introducing innovative technologies with a payback period of less than two years, confirming the feasibility of the proposed model for Kazakhstan.

The architecture of the proposed model for introducing innovative technologies in Kazakhstan' s agricultural sector is a hierarchically organized system of interconnected components (Fig 7), where each element performs a specific function in the overall mechanism of industry transformation.

The structure presented demonstrates the cascading nature of component interaction, where the institutional component forms the regulatory and legal framework through the creation of a National Innovation Centre, the development of regional clusters, and the introduction of a system of key performance indicators. The technological component ensures the direct modernisation of production processes through the introduction of precision farming, smart irrigation systems and a unified digital management platform. The financial component creates the necessary economic conditions through the formation of a specialised innovation fund, preferential lending mechanisms and an innovation risk insurance system. The educational component guarantees staffing through the modernisation of university programmes, the creation of demonstration farms and the development of online learning platforms. The infrastructure component forms the material and technical base through the development of digital networks, the construction of modern logistics centres and the creation of export infrastructure.

The financial component of the model is based on international experience in creating inclusive financial mechanisms. As demonstrated by Swinnen J. and Kuijpers R., access to finance is a critical factor for involving small and medium-sized farms in innovation processes [6].

Conclusion. The study demonstrated that the introduction of innovative technologies in the agricultural sector is a key factor in increasing its economic efficiency and competitiveness. International experience shows that there is a direct correlation between the level of innovation activity and growth in labour productivity, return on investment and the sustainability of agricultural production.

The study showed that the introduction of innovative technologies in the agricultural sector is a key factor in increasing its economic efficiency and competitiveness. International experience demonstrates a direct correlation between the level of innovation adoption and growth in labour productivity, return on investment, and sustainability of agricultural production.

An analysis of the experience of seven leading countries (the United States, the Netherlands, Israel, Germany, China, India, and Brazil) has identified key factors for the successful introduction of innovations, including the integration of science, business and government, infrastructure development, targeted government support, training, access to finance and export orientation.

The current state of Kazakhstan' s agricultural sector is characterised by a low level of innovation technology adoption (5% of enterprises), insufficient investment in innovation (0.5% of agricultural GDP) and low labour productivity growth (110% for 2018-2024). The main problems are the inefficient use of state support, insufficient infrastructure development, weak integration of science and business, a shortage of skilled personnel, and limited access to financing.

The proposed model for introducing innovative technologies in Kazakhstan' s agricultural sector is based on an analysis of international experience and the adaptation of best practices, taking into account national characteristics. The model includes institutional, technological, financial, educational and infrastructure components with a phased implementation mechanism.

The projected results of the model' s implementation by 2033 include an increase in the share of enterprises implementing innovations to 40%, a 150-200% increase in labour productivity, a 20-30% reduction in production costs, and a 2-3-fold increase in agricultural exports.

To assess the economic efficiency of innovation

implementation, a formula has been proposed that takes into account not only financial indicators but also the contribution to environmental sustainability and export potential.

The implementation of the proposed model will significantly increase the economic efficiency of Kazakhstan' s agricultural sector, ensure its sustainable development and competitiveness in international markets.

The key to success is a systematic approach and consistent implementation of all components of the model, taking into account regional characteristics and different types of farms.

The proposed model is fully consistent with the strategic priorities of the Republic of Kazakhstan, as set out in the Concept for the Development of the Agro-Industrial Complex of the Republic of Kazakhstan for 2021-2030 and the National Project for the Development of the Agro-Industrial Complex for 2021-2025. The five-component structure of the model corresponds to the five priority areas of the National Project: institutional development, technological modernisation, ensuring financial accessibility, human capital development and infrastructure improvement. The implementation of the model will contribute to the achievement of the target indicators of state programmes, including a 2.5-fold increase in labour productivity by 2030, an increase in the share of processed agricultural products to 70% and a twofold increase in exports of agro-industrial products.

Литература

1. Дарибаева А., Шуленбаева Ф., Бауэр М. Инновационный потенциал предприятий агропромышленного комплекса РК // Вестник КазУЭФМТ. -2019. -№4. -С.50-58. ISSN 2304-7216.

2. Clancy M. S., Moschini G., Heisey P. The roots of agricultural innovation: Evidence from patents//Economics of Research and Innovation in Agriculture. University of Chicago Press. - 2019. - P. 21-75. ISBN 978-0-226-77905-8, 978-0-226-77919-5.

3. Bjerke L., Johansson S. Innovation in agriculture: An analysis of Swedish agricultural and non-agricultural firms // Food Policy. -2022. -Vol.109: 102269. DOI 10.1016/j.foodpol.2022.102269.

4. Andrade D., Pasini F., Scarano F. R. Syntropy and innovation in agriculture // Current Opinion in Environmental Sustainability. -2020. -Vol.45. -P.20-24. DOI 10.1016/j.cosust.2020.08.003.

5. Barrett C.B., Benton T., Fanzo J., Herrero M., Nelson R.J., Bageant E., et al. Socio-Technical Innovation Bundles for Agri-Food Systems Transformation /Springer Nature. Sustainable Development Goals Series. -2022. -195 p. DOI 10.1007/978-3-030888022.

6. Swinnen J., Kuijpers R. Inclusive Value Chains to Accelerate Poverty Reduction in Africa / Jobs Working Paper. World Bank. -2020. -No.37. -44p. URL: http://hdl.handle.net/10986/33397. -Дата обращения: 20.06.2025.

7. Талимова Л.А., Жукенов Б.М., Акенов С.Ш., Сайфуллина Ю.М. Приоритетные направления инновационно-технологического развития агропромышленного комплекса Казахстана// Вестник университета «Туран». -2020. -Т.4(88). -С.219-225. DOI 10.46914/1562-2959-2020-1-4-219-225.

8. Baudron F., Liégeois F. Fixing our global agricultural system to prevent the next COVID-19//Outlook on Agriculture. -2020. -Vol.49 (2). -P.111–118. DOI 10.1177/0030727020931122.

9. Campos H. The Innovatsion Revolution in Agriculture. A roadmap to Value Creation / Hugo Campos Editor. -2021. - 234 p. DOI 10.1007/978-3-030-50991-0.

10. Żak A. Innovations in plant production as an opportunity for Polish agriculture // Agribusiness and Rural Development. -2017. -Vol.1(43). -P.239–246. DOI 10.17306/J.JARD.2017.00317.

11. Абралиев О.А., Сугирова Г.С., Велеско С. Аграрный сектор Казахстана: ориентация на инновационное развитие//Проблемы агрорынка. -2023. -№ (1). -С.23-31. DOI 10.46666/2023-1.2708-9991.02.

12. Калдияров Д.А., Калымбекова Ж.К., Жуманазаров К.Б. Цифровая инновационная экосистема агропромышленного комплекса Казахстана: обзор предметной области// Проблемы агрорынка. -2023. -№ 3. -С.34-41. DOI 10.46666/2023-3.2708-9991.03.

13. Шайнуров А.С., Смагулова Ж.Б. Предпосылки и проблемы цифровизации АПК Казахстана//-Вестник университета «Туран». -2024. -№1. -С.156-169. DOI 10.46914/1562-2959-2024-1-1-156-169.

14. Shogenov B.A., Mirzoeva A.R. Problemy tsifrovizatsii v otrasli rastenievodstva //Russian Journal of Management. -2023. -T.4. -S. 478–489. DOI 10.29039/2409-6024-2023-11-4-478-489.

15. Ferreira A.P.A.L., de Oliveira L., Talamini E. Land use returns in organic and conventional farming systems: financial and beyond // Organic Agriculture. -2022. -Vol.12. -P.353–371. DOI 10.1007/s13165-022-00392-4.

16. Ndaba B., Roopnarain A., Haripriya R., Maaza M. Biosynthesized metallic nanoparticles as fertilizers: An emerging precision agriculture strategy // Journal of Integrative Agriculture. -2022. -Vol.21(5). -P.1225-1242. DOI 10.1016/S2095-3119(21)63751-6.

17. Agriculture development in the Central Asia Regional Economic Cooperation Program member countries/ Asian Development Bank. -2019. -122 p. DOI 10.22617/TCS190607-2.

18. Nussipali R., Asilian L.V., Grigoryan A.G., Zatsarinnaia I.A., Kupriianenko N.A. Transformation of the agro-industrial complex of Kazakhstan // BIO Web of Conferences. -2024. -Vol.161: 00039. DOI 10.1051/bioconf/202516100039.

19. McKinsey & Company. McKinsey Global Farmer Insights 2024. -2024. URL: https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/global-farmer-insights-2024. -Дата обращения: 20.06.2025.

20. World Intellectual Property Organization. Global Innovation Index 2024. – 2024. URL: https://www.wipo.int/web-publications/global-innovation-index-2024/en/gii-2024-results.html. -Дата обращения: 20.06.2025.

21. OECD, FAO. OECD-FAO Agricultural Outlook 2024-2033. – 2024. URL: https://www.oecd.org/en/publications/2024/07/oecd-fao-agricultural-outlook-2024-2033_e173f332.html. - Дата обращения: 20.06.2025.

22. Сельско-хозяйственный комплекс Республики Казахстан. Национальный проект по развитию агропромышленного комплекса на 2021–2025 годы. -2021. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2100000960. -Дата обращения: 20.06.2025.

23. World Bank Group. Agriculture and rural development data. URL: https://data.worldbank.org/topic/agriculture-and-rural-development. -Дата обращения: 20.06.2025.

24. Klerkx L., Rose D. Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways? // Global Food Security. -2020. -Vol.24: 100347. DOI 10.1016/j.gfs.2019.100347.

25. Сельско-хозяйственный комплекс Республики Казахстан. Государственная программа развития агропромышленного комплекса РК на 2021–2030 годы. -2021. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2100000960. -Дата обращения: 20.06.2025.

References

1. Daribaeva A., Shulenbaeva F., Baujer M. Innovatsionnyi potentsial predpriiatii agro-promyshlennogo kompleksa Respubliki Kazakhstan//Vestnik KazUZhFMT. -2019. -Vol.4. -S.50-55. ISSN 2304-7216. [in Russian]

2. Clancy M. S., Moschini G., Heisey P. The roots of agricultural innovation: Evidence from patents//Economics of Research and Innovation in Agriculture. University of Chicago Press. - 2019. - ISBN 978-0-226-77905-8, 978-0-226-77919-5. - P.21-75.

3. Bjerke L., Johansson S. Innovation in agriculture: An analysis of Swedish agricultural and non-agricultural firms // Food Policy. - 2022. - Vol.109: 102269. DOI 10.1016/j.foodpol.2022.102269.

4. Andrade D., Pasini F., Scarano F. R. Syntropy and innovation in agriculture // Current Opinion in Environmental Sustainability. - 2020. - Vol.45. - P.20-24. DOI 10.1016/j.cosust.2020.08.003

5. Barrett C.B., Benton T., Fanzo J., Herrero M., Nelson R.J., Bageant E., et al. Socio-Technical Innovation Bundles for Agri-Food Systems Transformation /Springer Nature. Sustainable Development Goals Series. -2022. -195 p. DOI 10.1007/978-3-030-88802-2.

6. Swinnen J., Kuijpers R. Inclusive Value Chains to Accelerate Poverty Reduction in Africa / Jobs Working Paper. World Bank. -2020. -No.37. -44p. URL: http://hdl.handle.net/10986/33397. -Date of access: 20.06.2025.

7. Talimova L.A., Zhukenov B.M., Akenov S.Sh., Saifullina Ye. Prioritetnye napravleniya innovatsionnogo i tekhnologicheskogo razvitiya agro-promyshlennogo kompleksa Kazakhstana. Vestnik Universiteta «Turan». -2020. -T.4(88). -S.219–225. DOI 10.46914/1562-2959-2020-1-4-219-225. [in Russian]

8. Baudron F., Liégeois F. Fixing our global agricultural system to prevent the next COVID-19 // Outlook on Agriculture. -2020. -Vol.49 (2). -P.111–118. DOI 10.1177/0030727020931122.

9. Campos H. The Innovatsion Revolution in Agriculture. A roadmap to Value Creation / Hugo Campos Editor. -2021. - 234 p. DOI 10.1007/978-3-030-50991-0.

10. Żak A. Innovations in plant production as an opportunity for Polish agriculture // Agribusiness and Rural Development. -2017. -Vol.1(43). -P.239–246. DOI 10.17306/J.JARD.2017.00317.

11. Abraliyev O.A., Sugirova G.S., Velesco S. Agrarnyi sektor Kazakhstana: orientatsiya na innovatsionnoe razvitie//Problemy agrorynka. -2023. -№ 1. -S.23–31. DOI 10.46666/2023-1.2708-9991.02. [in Russian]

12 Kaldiyarov D.A., Kalymbekova Zh.K., Jumanazarov K.B. Tsifrovaya innovatsionnaya ekosistema agro-promyshlennogo kompleksa Kazakhstana: obzor predmetnoi oblasti // Problemy agrorynka. -2023. -№ 3. -S.34–41. DOI 10.46666/2023-3.2708-9991.03. [in Russian]

13. Shainurov A.S., Smagulova Zh.B. Predposylki i problemy tsifrovizatsii APK Kazakhstana //Vestnik Universiteta «Turan». – 2024. - №1. –S.156–169. DOI 10.46914/1562-2959-2024-1-1-156-169. [in Russian]

14. Shogenov B.A., Mirzoeva A.R. Problemy tsifrovizatsii v otrasli rastenievodstva //Russian Journal of Management. -2023. –T.4. -S. 478–489. DOI 10.29039/2409-6024-2023-11-4-478-489.

15. Ferreira A.P.A.L., de Oliveira L., Talamini E. Land use returns in organic and conventional farming systems: financial and beyond // Organic Agriculture. -2022. -Vol.12. -P.353–371. DOI 10.1007/s13165-022-00392-4.

16. Ndaba B., Roopnarain A., Haripriya R., Maaza M. Biosynthesized metallic nanoparticles as fertilizers: An emerging precision agriculture strategy // Journal of Integrative Agriculture. -2022. -Vol.21 (5). -P. 1225–1242. DOI 10.1016/S2095-3119(21)63751-6.

17. Agriculture development in the Central Asia Regional Economic Cooperation Program member countries/ Asian Development Bank. -2019. -122 p. DOI 10.22617/TCS190607-2.

18. Nussipali R., Asilian L.V., Grigoryan A.G., Zatsarinnaia I.A., Kupriianenko N.A. Transformation of the agro-industrial complex of Kazakhstan // BIO Web of Conferences. -2024. -Vol.161: 00039. DOI 10.1051/bioconf/202516100039.

19. McKinsey & Company. McKinsey Global Farmer Insights 2024. -2024. URL: https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/global-farmer-insights-2024. –Date of access: 20.06.2025

20. World Intellectual Property Organization. Global Innovation Index 2024. – 2024. URL: https://www.wipo.int/web-publications/global-innovation-index-2024/en/gii-2024-results.html. – Date of access: 20.06.2025

21. OECD, FAO. OECD-FAO Agricultural Outlook 2024-2033. – 2024. URL: https://www.oecd.org/en/publications/2024/07/oecd-fao-agricultural-outlook-2024-2033_e173f332.html. - Date of access: 20.06.2025.

22. Ministerstvo selskohozyaystvennogo kompleksa Respubliki Kazakhstan. Natsional’nyy proekt po razvitiyu agropromyshlennogo kompleksa na 2021–2025 gody. -2021. URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/moa/documents/details/274532?lang=ru. - Date of access: 20.06.2025. [in Russian]

23. World Bank Group. Agriculture and rural development data. URL: https://data.worldbank.org/topic/agriculture-and-rural-development. - Date of access: 20.06.2025.

24. Klerkx L., Rose D. Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways? // Global Food Security. -2020. -Vol.24: 100347. DOI https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347.

25. Ministerstvo sel’skokhoziaistvennogo kompleksa Respubliki Kazakhstan. Gosudarstvennaya programma razvitiya agropromyshlennogo kompleksa Respubliki Kazakhstan na 2021–2030 gody. Astana. -2021. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2100000960. - Date of access: 20.06.2025. [in Russian]

Information about the authors

Bektaev A. -PhD student, Turan-Astana University, Astana, Kazakhstan, e-mail: bektaev_alibek@mail.ru;

Saparova G. -Doctor of Economic Sciences, Professor, Turan-Astana University, Astana, Kazakhstan, e-mail: saparova_g.k@mail.ru;

Raikhan M. -Master of Economic Sciences, Senior Researcher, Republican State Enterprise on the Right of Economic Management “Republican Scientific Research Institute of Labor Protection of the Ministry of Labor and Social Protection of the Republic of Kazakhstan”, Astana, Kazakhstan, e-mail: meir.raikhan@mail.ru;

Atyzova A. -PhD student, Turan-Astana University, Astana, Kazakhstan, e-mail: asel_ramazanova@bk.ru;

Bespalyy S. -Candidate of Economics, Professor, Toraygyrov University, Astana, Kazakhsta, e-mail: sergeybespalyy74@gmail.com;

Serikbayeva B. - Candidate of Economics, Associate Professor, Turan-Astana University, Astana, Kazakhstan, e-mail: Bsbook@icloud.com.

Информация об авторах

Бектаев А.К. - докторант, Университет «Туран-Астана», Астана, Казахстан, e-mail: bektaev_alibek@mail.ru;

Сапарова Г.К. - доктор экономических наук, профессор, Университет «Туран-Астана», Астана, Казахстан, e-mail: saparova_g.k@mail.ru;

Райхан М.С. - магистр экономических наук, старший научный сотрудник, РГП на ПХВ «Республиканский научно-исследовательский институт охраны труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан», Астана, Казахстан, e-mail: meir.raikhan@mail.ru;

Атызова А.Ж. - докторант, Университет «Туран-Астана», Астана, Казахстан, e-mail: asel_ramazanova@bk.ru;

Беспалый С.В. - кандидат экономических наук, профессор,
Университет имени Торайгырова, Астана, Казахстан, e-mail: sergeybespalyy74@gmail.com;

Серикбаева Б.М. - кандидат экономических наук, доцент, Университет «Туран-Астана», Астана, Казахстан, e-mail: Bsbook@icloud.com.

ҒТАМР 06.51.25 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1057**

ЦИФРЛЫҚ ЭКОНОМИКАНЫ ҚАЛЫПТАСТЫРУДАҒЫ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІҢ РӨЛІ: ЖАҢҒЫРТУ МҮМКІНДІКТЕРІ ЖӘНЕ ТРАНСФОРМАЦИЯ ТӘУЕКЕЛДЕРІ

[1]Г.Х. Умарова, [1]И.Е. Кожамкулова, [1]Г.Е. Мауленкулова, [2]Е.З. Онласынов

[1]М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,
[2]Орталық Азия инновациялық университеті, Шымкент, Қазақстан

Корреспондент-автор: indira76.00@mail.ru

Мақалада Қазақстанның цифрлық экономикасын қалыптастырудағы жасанды интеллекттің (ЖИ) рөлі жан-жақты талданады. Мақаланың мақсаты – ЖИ технологияларының ұлттық экономиканың құрылымдық жаңғыруына әсерін анықтау, олардың енгізілуінің мүмкіндіктері мен тәуекелдерін бағалау және Қазақстан жағдайына бейімделген тиімді реттеушілік және институционалдық модельдер ұсыну. Мақалада Қазақстандағы цифрландыру деңгейі, мемлекеттік саясаттың эволюциясы, салалық ЖИ шешімдерінің таралуы және нарықтық динамикасының жаңа трендтері заманауи статистикалық деректер негізінде қарастырылады. Қорытындыда ЖИ арқылы экономиканың инновациялық өсу мүмкіндіктері бағаланып, трансформациялық тәуекелдерді төмендету жолдары ұсынылды.

Түйін сөздер: жасанды интеллект, цифрлық экономика, инновациялар, цифрландыру тәуекелдері, инновациялық даму, технологиялық трансформация, Қазақстан.

РОЛЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ФОРМИРОВАНИИ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ: ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ И РИСКИ ТРАНСФОРМАЦИИ

[1]Г.Х. Умарова, [1]И.Е. Кожамкулова, [1]Г.Е. Мауленкулова, [2]Е.З. Онласынов

[1]Южно-Казахстанский университет им. М.Ауэзова, Шымкент Казахстан,
[2]Центрально-Азиатский инновационный университет, Шымкент, Казахстан,
e-mail: indira76.00@mail.ru

В статье всесторонне проанализирована роль искусственного интеллекта (ИИ) в формировании цифровой экономики Казахстана. Цель статьи-выявить влияние технологий ИИ на структурную модернизацию национальной экономики, оценить возможности и риски их внедрения и предложить эффективные регуляторные и институциональные модели, адаптированные к условиям Казахстана. В статье рассматриваются уровень цифровизации в Казахстане, эволюция государственной политики, распространение отраслевых решений и новые тренды динамики рынка на основе современных статистических данных. В заключении были оценены возможности инновационного роста экономики через ИИ, предложены пути снижения трансформационных рисков.

Ключевые слова: искусственный интеллект, цифровая экономика , инновации, риски цифровизации, инновационное развитие, технологическая трансформация, Казахстан.

THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN SHAPING THE DIGITAL ECONOMY: MODERNIZATION OPPORTUNITIES AND TRANSFORMATION RISKS

[1]G.H. Umarova, [1]I.E. Kozhamkulova, [1]G.E. Maulenkulova, [2]E.Z. Onlasynov

[1]South Kazakhstan University named after M.Auezov, Shymkent, Kazakhstan,
[2]Central Asian Innovation University, Shymkent, Kazakhstan,
e-mail: indira76.00@mail.ru

The article comprehensively analyzes the role of artificial intelligence (AI) in shaping the digital economy of Kazakhstan. The purpose of the article is to identify the impact of AI technologies on the structural modernization of the national economy, assess the opportunities and risks of their implementation

and propose effective regulatory and institutional models adapted to the conditions of Kazakhstan. The article examines the level of digitalization in Kazakhstan, the evolution of government policy, the spread of industry solutions and new trends in market dynamics based on modern statistical data. In conclusion, the possibilities of innovative economic growth through AI were assessed, and ways to reduce transformational risks were proposed.

Keywords: artificial intelligence, digital economy, innovation, risks of digitalization, innovative development, technological transformation, Kazakhstan.

Кіріспе. Президентіміз Қасым-Жомарт Тоқаев Астана қаласындағы «Digital Bridge 2023» халықаралық технологиялық форумында сөйлеген сөзінде «Жасанды интеллект енді ғылыми фантастика емес, пайда болған шындық. Біздің көз алдымызда жаңа дәуір өрбіді. Жасанды интеллект технологиясы бір кездері электр және Интернет сияқты революциялық болып табылады. Ол адамның өмір салтын түбегейлі өзгерте алады, көптеген жұмыс процестерін автоматтандырады және өзінің ауқымында айтарлықтай экономикалық құндылық жасай алады. Сарапшылардың бағалауы бойынша, әлемдік экономикаға жасанды интеллекттің әлеуетті үлесі жаһандық ЖІӨ-нің төрттен бір бөлігімен салыстырылады. Бұл технологияны кеңінен қолдану Қазақстанның үдемелі дамуының маңызды факторы бола алады»,-деді Мемлекет басшысы [1].

Жасанды интеллект технологияларының қарқынды дамуы жаһандық цифрлық трансформацияның айқындаушы факторына айналуда. ЖИ деректерді өңдеудің, автоматтандырудың, шешім қабылдаудың және инновациялық өнімдерді жасаудың сапалы жаңа тәсілдерін қалыптастырады. Ол елдер мен компаниялардың бәсекеге қабілеттілігін айтарлықтай арттыруға қабілетті цифрлық экономиканың негізгі элементі ретінде қарастырылады.

Мақаланың өзектілігі ЖИ тек технологиялық құрал болмай, экономикалық дамудың жүйе құрушы факторына айналуымен байланысты. Салалық саясатқа ЖИ ықпалдастыратын мемлекеттер өнімділікте, экономикалық өсімде және инновацияларда артықшылықтарды қалыптастырады. Сонымен қатар, ЖИ-ні дамыту әлеуметтік, этикалық, құқықтық және ақпараттық тәуекелдерді тудырады.

Мақаланың мақсаты - цифрлық экономиканы қалыптастырудағы жасанды интеллекттің рөлін бағалау, оның экономиканы жаңғырту үшін мүмкіндіктерін анықтау және технологиялық трансформация жағдайында туындайтын тәуекелдерді талдау.

Зерттеу міндеттері:

1. ЖИ дамытудың теориялық негіздерін ашу;

3. Цифрлық трансформация тәуекелдерін зерттеу;

4. ЖИ реттеудің әлемдік тәжірибесін зерделеу;

5. Қазақстандағы ЖИ даму жағдайын бағалау.

Материалдар мен әдістер. Мақала жазу барысында отандық, ресейлік, шетелдік зерттеуші ғалымдардың көпшілікке жариялаған бірқатар жарияланымдары талданды.

Д.Р. Ахматованың мақаласында әлемдік тәжірибені, ресейлік тәжірибені және олардың ЕАЭО елдеріндегі даму перспективаларын талдау негізінде жасанды интеллект технологияларының экономикалық әлеуеті қаралады. Автор ЖИ-ні экономикада қолданудың негізгі бағыттарын, соның ішінде өнеркәсіп, мемлекеттік басқару, финтех және логистиканы анықтайды және экономикалық тиімділік өнімділіктің өсуі, цифрлық платформаларды масштабтау, процестерді автоматтандыру және жаңа нарықтарды құру есебінен қалыптасатынын көрсетеді. Автор ЕАЭО-да жүйелік цифрландыру және технологиялық стратегияларды үйлестіру ЖИ енгізудің экономикалық тиімділігін едәуір күшейтуі мүмкін деген қорытынды жасайды [2].

Э.М.Проидаков өзінің «Жасанды интеллекттің қазіргі жағдайы» атты еңбегінде ЖИ саласына жан-жақты талдау ұсынады. Ол зерттеулер мен әзірлемелердің қазіргі жағдайын сипаттап қана қоймайды, сонымен қатар жасанды интел-

лект жүйелерінің, атап айтқанда, мемлекеттік басқарудағы негізгі бағыттарын, тенденциялары мен мүмкіндіктерін анықтайды [3].

И.В.Лукьянов «Инновациялық экономика және жасанды интеллект Төртінші өнеркәсіптік революцияның қозғаушы факторлары ретінде» мақаласында жасанды интеллекттің үш негізгі түрін және төртінші өнеркәсіптік революцияның дамуының қазіргі қоғамға ықтимал салдарын қарастырады [4].

Щурина С.В. және Данилова А.С. өз зерттеулерінде”Жасанды интеллект экономиканың дамуын жеделдету үшін технологиялық инновация ретінде” жасанды интеллекттің трансформациялық әлеуетіне баса назар аударады. Авторлар ЖИ-ні бизнес-процестерге белсенді енгізу тиімділіктің айтарлықтай өсуіне, бәсекеге қабілеттіліктің артуына және нарықтардың дамуына әкелетінін дәлелдейді.Сонымен қатар, олар технологиялық прогресті ынталандырады, өнімнің сапасын арттырады, өндіріс көлемін арттырады және тұтастай алғанда елдің эконом/икалық өсуіне ықпал етеді, оны көшбасшылар қатарына қосады деп мәлімдейді [5].

Soni N. үндістан зерттеушісі бизнес модельдеріндегі зерттеулерді, әзірлемелерді, енгізуді және болашақтағы өзгерістерді қарастыру арқылы бизнеске қандай әсер ететінін зерттеді. Олар инновацияны, білімді және кәсіпкерлікті ескеретін нео-шумпетериандық экономикаға негізделген үш өлшемді модельді қолданды [6].

Мақала Қазақстандағы жасанды интеллекттің цифрлық экономиканы қалыптастырудағы рөлін кешенді ғылыми талдау мақсатында жүргізілді. Методология бірнеше өзара байланысты зерттеу әдістерінен тұрады.

Теориялық-әдіснамалық талдау-жасанды интеллекттің экономикалық әсері, цифрлық трансформация теориялары және инновациялық даму модельдері бойынша ғылыми әдебиеттерге шолу жасалды. Қазақстанның цифрландыру саясатына байланысты стратегиялық құжаттар кешені талданды.

Салыстырмалы талдау-Қазақстан көрсеткіштері халықаралық индекстермен және алдыңғы қатарлы елдердің тәжірибелерімен салыстырылды.

Статистикалық және сандық талдау- Цифрлық экономика индикаторлары, ЖИ енгізу қарқыны деректері жинақталды.

Нәтижелер және талқылау. Жасанды интеллект машиналарға адами интеллект талап ететін міндеттерді орындауға мүмкіндік беретін технологиялардың жиынтығы ретінде анықталады: оқыту, тану, болжау, шешім қабылдау. Цифрлық экономика құрылымында ЖИ үлкен деректер, бұлтты сервистер, заттар интернеті және автоматтандыру арасындағы байланыстырушы буын болып табылады.

ЖИ жай ғана құралға емес, экономикалық факторлардың салалық құрылымдары мен мінез-құлық үлгілерін өзгертетін платформалық технологияға айналады.

Жаһандық ЖИ индексі жасанды интеллект саласындағы елдердің даму деңгейін бағалау үшін жеті ішкі тірекке біріктірілген 122 көрсеткішті қолданады. Бұл ішкі тіректерге талант әлеуеті, инфрақұрылымның дамуы, операциялық орта, зерттеулер мен әзірлемелер, үкіметтің стратегиялық бағыты және коммерциялық экожүйенің қалыптасуы кіреді. Аталған көрсеткіштер кейін үш негізгі категорияға - енгізу (adoption), инновация (innovation) және инвестиция (investment) бағыттарына топтастырылған.

1. АҚШ – жасанды интеллект саласындағы абсолютті көшбасшы.

Америка Құрама Штаттары индекс көрсеткіштерінің басым бөлігінде (талант, инфрақұрылым, зерттеу әлеуеті, коммерцияландыру) бірінші орынға ие. Елдің басты артықшылықтары - Кремний алқабының жоғары технологиялық экожүйесі, әлемдік деңгейдегі ғылыми орталықтар (MIT, Stanford, Harvard), сондай-ақ венчурлық капитал нарығының дамуы. АҚШ-ты ерекшелендіретін фактор - жасанды интеллект бойынша зерттеулерді ғана жүргізіп қоймай, олардың нәтижесін нарыққа тез енгізу қабілеті. ChatGPT, Tesla автономды жүйелері, OpenAI және Google DeepMind әзірлемелері осының айқын мысалы.

2. Қытай – көлемдік және институционалдық артықшылыққа негізделген жоғары қарқын.

Қытай жалпы рейтингте АҚШ-тан кейінгі орында тұр. Дегенмен, жұмыс ортасы көрсеткіші бойынша (21-орын) әлсіз тұстары байқалады. Соған қарамастан, елдің AI саласындағы қарқыны орталықтандырылған мемлекеттік саясат, көлемді деректер қоры және қолданбалы технологиялардың кең ауқымда енгізілуімен түсіндіріледі. Huawei, Baidu және Alibaba Cloud сынды компаниялар Қытайды қолданбалы жасанды интеллекттің жаһандық көшбасшыларының біріне айналдыруда.

3. Сингапур - шағын мемлекеттің стратегиялық басқаруға негізделген жетістігі.

Сингапурдың 3-орынға шығуы тиімді мемлекеттік басқару жасанды интеллект дамуында шешуші рөл атқаратынын дәлелдейді. Ел үкіметі AI инфрақұрылымын ұлттық экономиканың барлық негізгі секторына енгізуді мақсат еткен үйлесімді стратегия ұстанып келеді.

4-10 орындар арасындағы елдердің ерекшеліктері.Ұлыбритания, Франция және Германия ғылыми-зерттеу саласында ұзақ мерзімді дәстүрге ие болғанымен, коммерцияландыру бойынша АҚШ пен Қытайдан артта қалып отыр.

Оңтүстік Корея чип өндіру және жоғары технологиялық өндірісте (Samsung, SK Hynix) озық орынға ие, бұл AI дамуы үшін стратегиялық база құрайды.

Израиль стартап экожүйесімен ерекшеленсе де, мемлекеттік стратегия көрсеткіші бойынша төмен рейтингке (31-орын) ие [7].

Үндістан талант көрсеткіші бойынша (2-орын) әлемдегі ең ауқымды IT кадрлар қорын көрсеткенімен, инфрақұрылымдық дамуда айтарлықтай артта қалып отыр.

1-кесте. Жаһандық AI Индексі 2024:Жаһандық рейтинг және қосалқы көрсеткіштер

Ел	Жалпы рейтингі	Талант	Жұмыс ортасы	Инфрақұрылым	Үкімет стратегиясы	Коммерциялық әлеует	Зерттеу	Даму
АҚШ	1	1	2	1	2	1	1	1
Қытай	2	9	21	2	5	2	2	2
Сингапур	3	6	48	3	9	4	3	5
Ұлыбритания	4	4	4	17	6	5	4	16
Франция	5	10	19	14	8	8	6	4
Оңт. Корея	6	13	35	6	4	12	13	3
Германия	7	3	8	13	7	9	8	11
Канада	8	8	16	18	3	6	9	10
Израиль	9	7	65	26	31	3	7	6
Үндістан	10	2	3	68	10	-	-	-
Дерккөз: AI Index report 2024[8]								

Жалпы алғанда, жаһандық зерттеулер AI технологияларын енгізген компаниялардың өнімділігі орта есеппен 20-30%-ға артқанын, денсаулық сақтау саласында диагноз қою жылдамдығы екі есеге дейін жоғарылағанын көрсетеді. Өнеркәсіпте роботтандыру өндіріс процесін оңтайландырып, адам еңбегінің интенсивтілігін төмендетіп келеді.

Жаһандық AI индексі елдердің жасанды интеллект саласындағы бәсекелік қабілетін жан-жақты бағалай отырып, қай мемлекеттердің алдыңғы қатарда екенін және қай елдердің артта қалып отырғанын айқын көрсетеді.2024 жылғы рейтингке сәйкес, АҚШ жаһандық AI жарысында үздік позициясын сақтап отыр [7].

Қазақстанның жасанды интеллект саласындағы институционалдық дамуы соңғы үш жылда айтарлықтай жеделдеді.2 024 жылы қабылданған «Жасанды интеллектті дамыту концепциясы (2024–2029)» елдің технологиялық модернизациясының негізгі нормативтік құжатына айналды. Концепцияның басты бағыттары:

1) ***институционалдық экожүйе құру:***

- ұлттық AI органы немесе үйлестіру кеңесін қалыптастыру;

- AI стандарттарын, этикалық нормаларды енгізу;

- мемлекеттік деректерді цифрландыру және ашық деректер көлемін арттыру;

2) ***экономиканы ЖИ арқылы трансформациялау:***

- өнеркәсіп, ауыл шаруашылығы, энергетика, көлік салалары үшін таргеттелген AI-жетекші жобалар;

- «Цифрлық үкімет 2.0», автоматталған аналитикалық жүйелер енгізу;

3) ***таланттар нарығы және кадрлық потенциал:***

- 20 мыңға дейін жоғары білікті IT мамандар даярлау;

- AI бойынша магистратура/PhD тректерін көбейту;

- STEM бағытында мектеп бағдарламасын жаңарту [9].

Институционалдық база қалыптасқанымен, негізгі мәселе - жүзеге асыру мүмкіндігінің жеткіліксіздігі, әсіресе кадр тапшылығы мен деректердің сапасыздығы. Сондықтан Концепцияны талап деңгейінде іске асыру үшін қаржыландырудың тұрақты моделі және бизнес-процестердің нақты KPI-лары қажет.

Қазақстан экономикасының ЖИ-ді енгізуге дайындық деңгейі.

2-кесте. Жасанды интеллектіні енгізуге дайын салалар

Сала	Дайындық деңгейі	Нақты ілгерілеу
Қаржы	Өте жоғары	Fintech, антифрод, автоматтандырылған скоринг жүйелері
Сауда және логистика	Жоғары	Маршрутты оңтайландыру, сұраныс болжамы
Өнеркәсіп	Орта	Predictive maintenance жобалары енді дамып келеді
Мұнай-газ	Орта-жоғары	Барлау, бұрғылау оптимизациясы, қауіпсіздік мониторингі
Ауыл шаруашылығы	Төмен	Smart farming пилоттық қана жобалар
Денсаулық сақтау	Орта	Диагностикада ЖИ қолданылуда, бірақ масштаб төмен
Авторлармен құрастырылан		

Цифрлық инфрақұрылым:

- 5G желісі Астана мен Алматыда енгізілген, бірақ аймақтарда қамту деңгейі төмен;

- Data center қуаттылығы артуда (IXC, Kazteleport, AstanaHub DCL);

- Cloud adoption деңгейі халықаралық стандартпен салыстырғанда төмен (30–35%).

Инфрақұрылым жеткілікті, бірақ ЖИ-ді масштабтау үшін аймақтық цифрлық теңсіздікті азайту қажет.

Қазақстанның цифрлық экономикасы мен жасанды интеллект экожүйесінің дамуына тікелей әсер ететін стратегиялық факторлардың бірі - кадрлық әлеует. Қазіргі қолда бар бағалауларға сәйкес, елде IT мамандарының тапшылығы шамамен 30 мың адамды құрайды (ҚР ЦДИАӨМ деректері). Бұл тапшылық әсіресе жасанды интеллект, машиналық оқыту, деректер инженериясы және жоғары өнімді есептеу салаларында айқын сезілуде. Жалпы IT кадрларының ішінде AI және ML бағытындағы жоғары білікті мамандардың үлесі небәрі 3–5% деңгейінде қалып отыр, бұл дамыған цифрлық экономикалармен салыстырғанда айтарлықтай төмен көрсеткіш [10].

Отын-энергетика, қаржы және өндірістік секторлардағы ЖИ жобаларының дамуы университеттерден бастап ғылыми ұйымдарға дейінгі білім беру экожүйесінің сапасына тәуелді. Қазақстан университеттерінде жасанды интеллект, big data analytics, робототехника бағыттары бойынша білім беру бағдарламалары ашылғанымен, зерттеу базасының жеткіліксіздігі, зертханалық инфрақұрылымның ақсауы, халықаралық зерттеу коллаборацияларының аздығы байқалады. Ғылыми нәтижелердің өнімділігі де шектеулі: Қазақстан Scopus және Web of Science базалары бойынша Орталық Азия өңірінде орта деңгейде орналасқанымен, AI саласындағы жарияланымдардың цитатталу индексі әлі де төмен. Бұл өз кезегінде ЖИ технологияларын ұлттық инновациялық экожүйеге енгізу

Қазақстанда ЖИ технологиялары салаларға әркелкі енгізілуде. Қаржы, телеком және электрондық коммерция секторлары ЖИ-ді белсенді пайдаланса, дәстүрлі индустриялар мен энергетикалық кешенде енгізу қарқыны баяу.

1) ***Қаржы секторы.***

Қазақстан финтех инновациялары бойынша ТМД кеңістігінде алдыңғы қатарда. Елдің жетекші институттары - Kaspi.kz, Halyk Bank, Freedom Bank, Jusan - клиенттік сервисті автоматтандыру, транзакциялық мониторинг, антифрод жүйелері, жекелендірілген ұсыныстар мен robo-advisors сияқты ЖИ шешімдерін кеңінен қолданады.

Қаржы секторында ЖИ бизнес-процестердің тиімділігін арттырып, операциялық шығындарды азайтуда. Алайда деректер қауіпсіздігі, инфрақұрылымдық тәуелсіздік және деректермен жұмыс стандарттарын кодификациялау мәселелері күрделі күйінде қалуда. Саланың қарқынды цифрлануы реттеушілік саясаттың артта қалуына алып келіп отыр [11].

2) ***Мұнай-газ секторы.***

Қазақстан экономикасының тірек салаларының бірі - мұнай-газ кешені - AI технологияларын енгізуді кезең-кезеңімен жүзеге асыруда. Теңізшевройл, Қарашығанақ, ҚазМұнайГаз компаниялары скважина өнімділігін модельдеу, жабдық тозуын болжау, сейсмикалық деректерді интерпретациялау сияқты бағыттарда пилоттық жобалар іске асырып жатыр.

Бұл салада ЖИ енгізудің әлеуеті өте жоғары: predictive analytics өндірістік шығындарды миллиардтаған теңгеге қысқартуға мүмкіндік береді. Дегенмен, мұнай-газ саласының капитал сыйымдылығы мен жабдықтардың күрделілігі енгізу қарқынын баяулатып отыр.

3) **Өнеркәсіп және өңдеу секторы.**

Индустрия 4.0 элементтерін енгізу - сенсорлық жүйелер, цифрлық егіздер, смарт-логистика, автоматтандырылған сапа бақылауы - ERG, Kazminerals, ArcelorMittal кәсіпорындарында басталғанымен, сала бойынша толық ауқымды цифрлық трансформация әлі жүріп жатқан жоқ.

Өнеркәсіп секторында негізгі проблемалар: өндірістік жабдықтардың жоғары тозуы, датчиктердің жеткіліксіздігі, өндірістік деректердің құрылымданбауы және олардың сапасының төмендігі. Бұл ЖИ модельдерінің дәлдігі мен коммерциялық тиімділігін шектейді.

4) ***Денсаулық сақтау.***

Қазақстан денсаулық сақтау жүйесі ЖИ-ді диагностиканы автоматтандыру (рентген, КТ, МРТ), клиникалық шешім қабылдау жүйелері, телемедицина және электрондық денсаулық сақтау платформалары арқылы енгізуде.

ЖИ енгізу диагностикалық дәлдікті 20-40%

арттыруы мүмкін. Алайда деректерді сақтау, өңдеу және интеграциялау мәселелері – әсіресе eHealth жүйесінде – шешілмеген күйінде қалып отыр. Біртұтас деректер архитектурасының жоқтығы ЖИ шешімдерінің масштабталуын тежейді.

3-кесте. SWOT талдау Қазақстандағы ЖИ дамуы

Күшті жақтары (Strengths)	**Әлсіз жақтары (Weaknesses)**
Мемлекеттік қолдау және нақты стратегия ТМД ішінде финтех саласында көшбасшылық Инфрақұрылымның салыстырмалы дамуы Astana Hub – аймақтағы ең ірі технопарк	Кадр тапшылығы Ғылыми-зерттеу базасының әлсіздігі Деректердің төмен сапасы Аймақтық цифрлық теңсіздік
Мүмкіндіктер (Opportunities)	**Қауіптер (Threats)**
Экономиканы әртараптандыру AI-driven өнеркәсіптік секіріс Халықаралық серіктестік (Оңтүстік Корея, Сингапур, ЕО, АҚШ) ЖИ экспортын дамыту	Кибершабуылдар Технологиялық тәуелділік (шетелдік платформаларға) Еңбек нарығындағы әлеуметтік тәуекелдер ЖИ жүйелерінің этикалық және құқықтық проблемалары

4-кесте. ЖИ енгізуге ең дайын 10 ел рейтингі

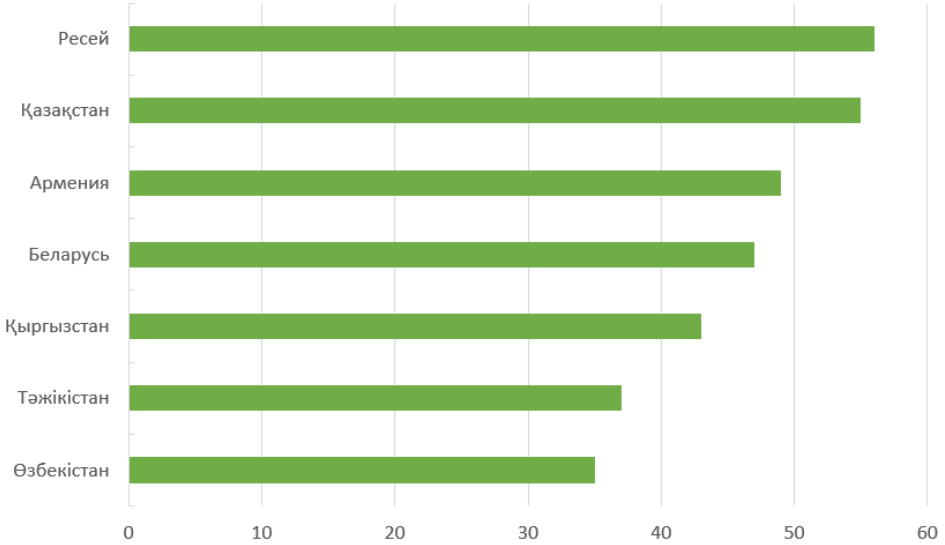
Орын	**Елдер**	**Индекс**
1	Сингапур	0,80
2	Дания	0,78
3	АҚШ	0,77
4	Нидерланды	0,77
5	Эстония	0,76
6	Финляндия	0,76
7	Швейцария	0,76
8	Жаңа Зеландия	0,75
9	Германия	0,75
10	Швеция	0,75

Жасанды Интеллект бойынша көшбасшы елдер АҚШ жасанды интеллект технологияларын әзірлеу мен енгізуде ең белсенді.2023 жылы АҚШ-та ЖИ-ке 67,2 миллиард доллар инвестицияланды, бұл ЖИ бағдарланған елдер рейтингінде екінші орын алған Қытайдан шамамен ,7 есе көп. Қытай АҚШ-ты тез қуып жетеді, әсіресе өнеркәсіптік роботтарды орнату және жаңа ЖИ үлгілерін әзірлеу саласында. Сонымен, 2021 жылы Қытай барлық басқа елдерге қарағанда өнеркәсіптік роботтарды көбірек орнатты. Ұлыбритания сонымен қатар ЖИ инвестициялары мен дамуы бойынша көшбасшылардың үштігіне кіреді, әсіресе ЖИ-ке қатысты құқықтық бастамалар мен заңнамада ерекше көзге түседі.ЖИ нарығы 2024 жылдың соңына қарай ол жыл сайын 826,70 млрд-қы жетеді, жыл сайын 28,46%-ға артады.

2024 жылға арналған статистика 2023 жылы ЖИ саласындағы стартаптарды қаржыландырудың жалпы көлемі 4 42,5 млрд құрады, ол 2022 жылғы 4 47,3 млрд-тан сәл төмендеді.

Деркекөз:[7]

Қазақстан АИ енгізуге дайындығы бойынша топ-50 елдің қатарына енді. ОА және ЕАЭО мемлекеттері арасында ҚР 0,56 балл индексімен 47-ші орынға ие болған Ресейден кейін екінші орында. Қазақстан тиісінше 0,55 балл индексімен 48-ші орынды иеленді. McKinsey & Company халықаралық консалтингтік агенттігінің мәліметі бойынша, біздің еліміздегі АИнің ең перспективалы қолданыстарының бірі ретінде географиялық ақпараттық жүйелер мен кеңістіктік деректер арқылы мемлекеттік қызметтерді трансформациялау белгіленді. Атап айтқанда, географиялық, демографиялық және экономикалық деректерді аналитикалық әдістермен біріктіретін статистикалық модельді пайдалана отырып, ауылдық елді мекендердегі инфрақұрылымды анықтау мен дамытудағы Қазақстанның тәжірибесі атап өтілді. Бұл модель 6293 ауылды талдап, ауыл халқының 90% - ы тұратын ең жоғары даму әлеуеті бар 3500-ді таңдады. Нәтижесінде Қазақстан Үкіметі ауылдық аудандарға негізгі қызметтер мен инфрақұрылымды тиімдірек және дәл ұсына алады [12].



1 - сурет. ЖИ енгізуге дайындығы бойынша ОА және ЕАЭО елдерінің рейтингі, 2025ж

Дереккөз [7].

Армения (71-ші орын және 0,49 балл), Беларусь (82-ші орын және 0,47 балл) және Қырғызстан (99-шы орын және 0,43 балл) артта қалып отыр. Тәжікстан 0,37 балл индексімен 123-орында, ал көрші Өзбекстан 0,35 балл индексімен 131-орында ОА және ЕАЭО елдерінің рейтингін жауып тастады. Айта кету керек, Түркіменстан ХВҚ индексінде ұсынылмаған [7].

Экономистердің есептеулеріне сәйкес, жасанды интеллектті қолдану 2030 жылға қарай жаһандық ЖІӨ-ні 14% - ға арттыруы мүмкін. Бүгінгі таңда Қазақстанда 93 ақпараттық база қосылған Smart Data Ufiles-те мемлекеттік органдардың деректерін жинау бойынша шаралар кешені іске асырылуда. Ұлттық инфрақұрылымды дамыту үшін суперкомпьютерлік қуаттарды орналастыруды, заманауи деректер орталықтарын құруды, ұлттық жасанды интеллект платформасын іске қосуды және талшықты-оптикалық байланыс желісін кеңейтуді қамтитын бірқатар ауқымды жобалар жоспарланған. Сонымен қатар, кадрлық әлеуетті дамыту бойынша жұмыстар жүргізілуде: білім беру және акселерациялық бағдарламалар іске асырылуда. Қазірдің өзінде еліміздің 17 ЖОО-да Жасанды Интеллект саласында оқытудың 15 бағыты ашылды, онда

екі мыңнан астам студент білім алады.

Сонымен қатар, ғылым және жоғары білім министрлігі мәдени және тілдік мұраны дамыту үшін заманауи үлкен тіл моделін (LLM) құру бойынша жұмыс жүргізуде. Бүгінгі таңда бірнеше білім беру ұйымдарынан - ақпараттық және есептеу технологиялары институтынан, Сәтбаев университетінен, Назарбаев Университетінен, «Тіл-Қазына» ҰҒПО-дан консорциум құрылды. Ш.Шаяхметова, тіл білімі институты. А.Байтұрсынов және ҚазҰУ. Мамандар шамамен 6 миллиард сөз жинады, бұлтты шешімдер арқылы суперкомпьютерді қолдана отырып, LLM моделін оқыту жүргізілуде.

Деректер жасанды интеллект дамуының негізгі және негізгі элементтерінің бірі болып табылады. Бұл бағыттағы жұмысты «ҰАТ» АҚ жүргізеді. Smart Data Ukimet (SDU) жүйесі көптеген ақпарат көздерінен алынған ақпаратты біріктіреді: мемлекеттік органдар, квазимемлекеттік сектор, жеке бизнес, банктер, университеттер және ғылыми-зерттеу орталықтары. Барлығы 93 дерекқор SDU-ға қосылған.

Жасанды интеллект саласындағы зерттеулерді дамыту үшін екі негізгі бағыт анықталды. Бұл Nazarbayev University және «ҰАТ» АҚ күштерімен қазақ тілінде үлкен тілдік модель (KazLLM) құру. Бұл модель 100 млрд. таңбалауышқа негізделетін болады. Модельдің жоғары сапасын қамтамасыз ету үшін қазақ тіліндегі деректердің ең көп санын жинау өте маңызды. Осы мақсаттар үшін машиналық оқыту саласындағы көшбасшы болып табылатын және зерттеулер алмасуға арналған «Hugging Face» платформасында ауқымды деректер жинау жүргізіледі, оның негізінде пайдаланушылар құралдарды әзірлеп, ЖИ модельдерін жасай алады. Платформада ашық көздермен өзара әрекеттесу жасанды интеллектті қол жетімді етеді және білім мен прогресс алмасу мәдениетін ынталандырады.

Екінші бағыт шеңберінде халықаралық компаниялармен бірлесіп «KazLLM» үлкен тілдік моделі әзірленетін болады. Бұл модель ашық көздерден алынған мәліметтер негізінде 30-40 млрд таңбалауышқа негізделетін болады. Жоба өтеусіз негізде іске асырылатын болады. Kazllm-дің алғашқы нұсқасын ағымдағы жылдың желтоқсан айында ұсыну жоспарлануда. Ведомствоның жоспарында 2029 жылға қарай ЖИ саласындағы патенттер санын жылына 20-ға дейін жеткізу көзделген [13].

Саладағы реттеу жасанды интеллект қауіпсіз, жауапкершілікпен және этикалық нормаларды сақтай отырып пайдаланылатын ортаны қалыптастыруға бағытталған. Қазақстанда әлемдік озық тәжірибелерге сүйене отырып, Мәжіліс депутаттарымен бірлесіп ”Жасанды интеллект туралы” заң жобасы әзірленді.

Заң жобасы әдеп нормаларын қабылдауды, мемлекеттік реттеуді, ЖИ-объектілердің жұмыс істеуінің құқықтық режимін, оларды жіктеуді, мемлекеттік қолдау шараларын және саладағы стандарттауды көздейді.

Жаңа технологияларды енгізудің барынша тиімділігіне қол жеткізу үшін Қазақстанға тиісті құзыреттері бар мамандардың болуын қамтамасыз ету қажет.2030 жылға қарай елде 5-тен 10 мыңға дейін деректер талдаушылары, 20-дан 25 мыңға дейін деректер жүйесін жасаушылар және 2-ден 5 мыңға дейін деректер зерттеушілері құрылады деп күтілуде. Қазірдің өзінде мамандардың бұл санаты еңбек нарығында маңызды және сұранысқа ие екені белгілі.

Қазақстан жасанды интеллект пен терең талдау технологияларының әлеуетін толық көлемде іске асыруы үшін мемлекеттің, жеке сектордың және азаматтардың күш-жігерін біріктіру қажет. Мемлекет технологиялық инновацияларға ықпал ететін тиісті инфрақұрылым мен жағдайлар жасауға тиіс. Өз кезегінде, жеке сектор ірі тапсырыс беруші ретінде әрекет ете отырып, жаңа технологиялар мен терең аналитиканы белсенді түрде енгізуі керек.

Сонымен қатар, мемлекеттің аналитикалық шешімдерді әзірлеуді қолдаудағы рөлі маңызды. Жасанды интеллекттің дамуына байланысты күшті және әлсіз жақтарын, мүмкіндіктері мен қауіптерін бағалау үшін SWOT талдауын қолдануға болады.

Қорытынды. Жасанды интеллектті (ЖИ) цифрлық экономиканың өзегіне айналдыру бү-

гінде экономикалық өсудің, өндірістік тиімділіктің және мемлекеттік басқару сапасының басты драйверлерінің бірі болып отыр. Ғылыми-теориялық талдаулар, халықаралық салыстырмалар және Қазақстан бойынша жүргізілген аналитикалық зерттеу нәтижелері ЖИ технологияларының ұлттық экономиканы жаңғыртуда шешуші рөл атқаратынын дәлелдеді. ЖИ тек цифрлық өнім емес, оның әсері экономиканың барлық секторларын -өнеркәсіптен қаржыға, көлік-логистикадан мемлекеттік қызметтерге дейін - жүйелі трансформациялаумен сипатталады.

Қазақстан үшін ЖИ дамуы екі бағытта өзекті:

- экономиканы технологиялық жаңғырту құралы ретінде;

- жаһандық бәсекеге қабілеттілікті арттыру факторы ретінде.

Елдің цифрлық инфрақұрылымы мен мемлекеттік платформалардың едәуір дамығаны (eGov, Open Data, Smart Data) ЖИ енгізу үшін институционалдық негіз қалыптастырса, кадрлық ресурстар, ғылыми зерттеулер мен жеке сектордың инновациялық белсенділігі әлі де күшейтуді қажет етеді. Соңғы жылдары ЖИ-ға инвестициялар көлемінің артуы, стартап-экожүйенің жандануы және ұлттық деңгейде қабылданған стратегиялық құжаттар (ЖИ концепциясы 2024-2029) экономиканың сандық трансформациясы үшін маңызды алғышарттар жасады.

Сонымен бірге зерттеу ЖИ дамуына байланысты бірқатар тәуекелдерді анықтады:

- еңбек нарығында құрылымдық өзгерістер және кәсіби теңсіздік;

- деректер қауіпсіздігі мен құпиялылық қатері;

- алгоритмдік бұрмалануларжәне реттеудің жеткіліксіздігі;

- технологиялық тәуелділік пен сыртқы платформаларға жоғары тәуелділік;

- бизнес-сектордың ЖИ енгізу шығындарына дайын еместігі.

Қазақстан жағдайында бұл тәуекелдерді тиімді басқару үшін адам капиталын күшейту, ғылыми зерттеулерді қаржыландыруды арттыру, деректердің қолжетімділігін және сапасын қамтамасыз ету, этикалық-құқықтық нормаларды қалыптастыру және ашық инновациялық экожүйе құру маңызды.

Жалпы алғанда, ЖИ-дың экономикалық тиімділігі оның жекелеген технологиялық шешімдерінен емес, жүйелі интеграция, деректермен жұмыс мәдениеті және инновациялық басқару моделінің қалыптасуынан көрінеді. Қазақстан осы бағытта айтарлықтай әлеуетке ие және стратегиялық жоспарлау жағдайында ЖИ елдің ұзақ мерзімді экономикалық өсімін қамтамасыз ететін негізгі факторлардың біріне айнала алады.

Әдебиеттер

1. Глава государства принял участие в международном форуме Digital Bridge 2023. 12 октября 2023 года. Официальный сайт Президента РК. https://www.akorda.kz/ru/glava-gosudarstva-prinyal-uchastie-v-mezhdunarodnom-forume-digital-bridge-2023-1294242. -Қаралан күні: 04.06.2025.

2. Ахматова Д.Р. Экономический потенциал искусственного интеллекта: мировой опыт, российская практика и перспективы стран ЕАЭС // Экономика и управление инновациями. -2023. -№ 3 (26). - С.15-24. DOI 10.26730/2587-5574-2023-3-15-24.

3. Пройдаков Э.М. Современное состояние искусственного интеллекта //Науковедческие исследования. -2018. - С.129-153. DOI 10.31249/scis/2018.00.09.

4. Лукьянов И.В. Инновационная экономика и искусственный интеллект как движущие факторы четвертой промышленной революции // Экономика: вчера, сегодня, завтра. -2019. –Т.9(7.А). - С.215-224.

5. Щурина С.В., Данилов А.С. Искусственный интеллект как технологическая инновация для

ускорения развития экономики // Экономика. Налоги. Право. -2019. -Т.12(3). - С.125-133. DOI 10.26794/1999-849X-2019-12-3-125-133.

6. Soni N. et al.Impact of artificial intelligence on businesses: from research, innovation, market deployment to future shifts in business models //arXiv preprint arXiv. -2019: 1905.02092. DOI 10.48550/arXiv.1905.02092.

7. Казахстан вошёл в топ-50 стран, наиболее подготовленных к внедрению И-И/Ranking.kz. -2024.URL:https://ranking.kz/reviews/world/kazahstan-voshyol-v-top-50-stran-naibolee-podgotovlennyh-k-vnedreniyu-ii.html. -Қаралан күні: 04.06.2025.

8. Perrault R., Clark J. Artificial Intelligence Index Report 2024. URL:https://hai.stanford.edu/assets/files/hai_ai-index-report-2024-smaller2.pdf. - Қаралан күні 04.06.2025.

9. 2023 - 2029 жылдарға арналған цифрлық трансформация, ақпараттық-коммуникациялық технологиялар саласын және киберқауіпсіздікті дамыту тұжырымдамасын бекіту туралы Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2023 жылғы 28 наурыздағы № 269 қаулысы

10. ҚР ЦДИАӨМ мақсаты - 2025 жылға дейін 100 мың IT-маманын дайындау. -2022. URL: https://primeminister.kz. -Қаралан күні 04.06.2025.

11. Omirgazy D. Kazakhstan’s Digital Revolution: From e-Government to AI Superpower/ The Astana Times. -2025. URL: https://astanatimes.com/2025/07/kazakhstans-digital-revolution-from-e-government-to-ai-superpower Date of access: 04.06.2025). [in Russian]

12. Готовность Казахстана к внедрению ИИ в структуры экономики оценивается как высокая – Жаслан Мадиев/ Официальный информацтонный ресурс Премьер министра РК. -2024. URL: https://primeminister.kz. -Қаралан күні: 04.06.2025.

13. Гельманова З.С., Мажитова С. К. Оценка вклада цифровизации в экономический рост // Вестник КазЭУФМТ. -2022. -№1(46). -С.100-112. DOI 10.52260/2304-7216.2022.1(46).13.

References

1. Glava gosudarstva prinäl uchastie v mejdunarodnom forume Digital Bridge 2023.12 oktäbrä 2023 goda. Ofisiälnyi sait Prezidenta RK.URL:https://www.akorda.kz/ru/glava-gosudarstva-prinyal-uchastie-v-mezhdunarodnom-forume-digital-bridge-2023-1294242. Date of access: 04.06.2025). [in Russian]

2. Ahmatova D.R. Ekonomicheski potensial iskustvennogo intelekta: mirovoi opyt, rosiskaia praktika i perspektivy stran EAES // Ekonomika i upravlenie innovasiami. -2023. -№ 3(26). -S.15-24. DOI 10.26730/2587-5574-2023-3-15-24. [in Russian]

3. Proidakov E.M.Sovremennoe sostoianie iskustvennogo intelekta//Naukovedcheskie issledovania. -2018. -S.129-153. DOI 10.31249/scis/2018.00.09. [in Russian]

4. Lükänov İ.V. İnnovasionnaya ekonomika i iskustvennyi intellekt kak dvijuşie faktory chetvertoi promyşlennoi revolüsii//Ekonomika:vchera, segodnä, zavtra. -2019. -T.9 (7-1). -S.215-224.[in Russian]

5. Şurina S.V., Danilov A.S.İskustvennyi intellekt kak tehnologicheskaya innovasia dlä uskorenia razvitia ekonomiki //Ekonomika. Nalogi. Pravo.-2019.-T.12 (3).-S.125-133. DOI 10.26794/1999-849X-2019-12-3-125-133. [in Russian]

6. Soni N. et al. Impact of artificial intelligence on businesses: from research, innovation, market deployment to future shifts in business models //arXiv preprint arXiv:1905.02092.- 2019. DOI 10.48550/arXiv.1905.02092.

7. Kazahstan voşöl v top-50 stran, naibolee podgotovlennyh k vnedreniu İİ/ Ranking.kz. -2024. URL: https://ranking.kz/reviews/world/kazahstan-voshyol-v-top-50-stran-naibolee-podgotovlennyh-k-vnedreniyu-ii.html. –Date of access: 04.06.2025. [in Russian]

8. Perrault R., Clark J. Artificial Intelligence Index Report 2024. URL:https://hai.stanford.edu/assets/files/hai_ai-index-report-2024-smaller2.pdf. -Date of access: 04.06.2025.

9.2023 - 2029 jyldarğa arnalğan sifrlyq transformasia, aqparattyq-komunikasialyq tehnologialar salasyn jäne kiberqauıpsızdıktı damytu tūjyrymdamasyn bekıtu turaly Qazaqstan Respublikasy Ükımetınıñ 2023 jylğy 28 nauryzdağy № 269 qaulysy [in Kazakh]

10. QR SDİAÖM maqsaty - 2025 jylğa deiın 100 myñ IT-mamanyn daiyndau.24 mamyr 2022. URL: https://primeminister.kz. – Date of access: 04.06.2025. (in Kazakh].

11. Omirgazy D. Kazakhstan’s Digital Revolution: From e-Government to AI Superpower/ The Astana Times. -2025. URL: https://astanatimes.com/2025/07/kazakhstans-digital-revolution-from-e-government-to-ai-superpower/ Date of access: 04.06.2025). [in Russian]

12. Gotovnöst Kazahstana k vnedreniu İİ v struktury ekonomiki osenivaetsä kak vysokaia – Jaslan Madiev/ Ofisiälnyi informastonnyi resurs Premer ministra RK. -2024 .URL: https://primeminister.kz. – Date of access: 04.06.2025. [in Russian]

13. Gelmanova Z.S., Majitova S. K. Osenka vklada sifrovizasii v ekonomicheski rost // Vestnik KazEUFMT. -2022. -№1(46). -S 100-112. DOI 10.52260/2304-7216.2022.1(46).13.

Авторлар туралы мәліметтер

Умарова Г.Х. - аға оқытушы, экономика магистрі, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан, e-mail: guh_umarova@mail.ru;

Кожамкулова И.Е. - э.ғ.к., доцент м.а., М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан, e-mail: indira76.00@mail.ru;

Мауленкулова Г.Е. - М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан, e-mail:maylenkylova@mail.ru;

Онласынов Е.З.- э.ғ.к., доцент м.а., экономика ғылымдарының кандидаты, Орталық Азия Инновациялық университеті, Шымкент, Қазақстан, e-mail: erlan72@gmail.com.

Information about the authors

Umarova G.H. - Senior Lecturer, Master of Economics, M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail:guh_umarova@mail.ru;

Kozhamkulova I.E. - Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: indira76.00@mail.ru;

Maulenkulova G.E. - M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: maylenkylova@mail.ru;

Onlasynov E.Z. - Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Candidate of Economic Sciences, Central Asian Innovation University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: erlan72@gmail.com.

IRSTI 06.02.13 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1255**

DIGITALIZATION OF SCIENCE AS A TOOL FOR INCREASING THE COMPETITIVENESS OF THE ECONOMY OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

D.A. Turganbayev, B.K. Issayeva, M.O. Kenzhegul, D.A. Seithozhina

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Correspondent-author: dos_25.97@mail.ru

In modern conditions of global competition and rapid technological development, the digitalization of science is becoming particularly important as a factor in increasing economic competitiveness. The purpose of this study is to determine and quantify the impact of the digitalization of the scientific sphere on the growth of the digital competitiveness of the economy of the Republic of Kazakhstan. The relevance of the topic is due to the need for an accelerated transition to a knowledge economy, where science and technology are the main sources of added value growth, the development of high-tech industries and investment attraction. Kazakhstan, despite the existence of digital development and scientific modernization strategies, faces a number of limitations: fragmented digital infrastructure, weak integration of science and business, insufficient level of digital competencies among scientific personnel. In the course of the study, a comparative analysis of the experience of the Republic of Korea was carried out, econometric modeling methods were applied, and an integral index of the digitalization of science was developed. The model revealed a stable positive relationship between the level of digitalization of scientific infrastructure and the country' s position in the global ranking of digital competitiveness. It has been established that even with a moderate increase in digitalization, it is possible to significantly strengthen the innovation potential and increase the efficiency of research and development (R&D). The results confirm the need to implement a holistic government policy on the digital transformation of the scientific field, including process automation, the development of digital platforms, cooperation with business, and strengthening the digital skills of researchers. The findings can serve as a basis for the formation of strategies for scientific, technological and economic development of Kazakhstan in the context of global digital trends.

Keywords: digitalization, infrastructure, science, economics, innovation, investment, artificial intelligence.

ҒЫЛЫМДЫ ЦИФРЛАНДЫРУ ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ЭКОНОМИКАСЫНЫҢ БӘСЕКЕГЕ ҚАБІЛЕТТІЛІГІН АРТТЫРУ ҚҰРАЛЫ РЕТІНДЕ

Д.Ә. Турғанбаев, Б.К. Исаева, М.О. Кенжеғұл, Д.А. Сейтхожина

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail: dos_25.97@mail.ru

Әлемдік бәсекелестік пен жедел дамып келе жатқан технологиялық дамудың қазіргі жағдайында ғылым саласын цифрландырулар экономиканың бәсекеге қабілеттілігін арттыру факторы ретінде маңызды болып табылады. Зерттеудің мақсаты ғылым салаларын цифрландырудың Қазақстан экономикасындағы цифрлық бәсекелестікке қабілеттілігінің артуына әсерлерін анықтау және сандық негіздеу болып табылады. Тақырыптың өзектілігі білім экономикасына жедел көшу қажеттілігімен байланысты, мұнда ғылым мен технология қосылған құнның өсуінің, жоғары технологиялық салалардың дамуының және инвестицияларды тартудың негізгі көзі болып табылады. Қазақстан цифрлық даму және ғылыми жаңғырту стратегияларының болуына қарамастан бірқатар шектеулерге тап болады: цифрлық инфрақұрылымның бөлшектенуі, ғылым мен бизнестің әлсіз интеграциясы, ғылыми кадрларда цифрлық құзыреттіліктің жеткіліксіз деңгейі. Зерттеу барысында Корея Республикасының тәжірибесіне салыстырмалы талдау жүргізілді, эконометрикалық модельдеу әдістері қолданылды, ғылымды цифрландырудың интегралды индексі әзірленді.

Модель ғылыми инфрақұрылымды цифрландыру деңгейі мен цифрлық бәсекеге қабілеттіліктің жаһандық рейтингіндегі елдің позициясы арасындағы тұрақты оң байланысты анықтауға мүмкіндік берді. Цифрландырудың қалыпты өсуімен де инновациялық әлеуетті едәуір күшейтуге және ғылыми-зерттеу және тәжірибелік-конструкторлық жұмыстардың (ҒЗТКЖ) тиімділігін арттыруға болатындығы анықталды. Нәтижелер процестерді автоматтандыруды, цифрлық платформаларды дамытуды, бизнеспен кооперацияны және зерттеушілердің цифрлық дағдыларын нығайтуды қоса алғанда, ғылыми саланы цифрлық трансформациялау бойынша тұтас мемлекеттік саясатты іске асыру қажеттігін растайды. Алынған тұжырымдар жаһандық цифрлық трендтер контекстінде Қазақстанның ғылыми-технологиялық және экономикалық даму стратегияларын қалыптастыру үшін негіз бола алады.

Түйін сөздер: цифрландыру, инфрақұрылым, ғылым, экономика, инновация, инвестиция, жасанды интеллект.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ НАУКИ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ЭКОНОМИКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Д.Ә. Турғанбаев✉, Б.К. Исаева, М.О. Кенжеғұл, Д.А. Сейтхожина

Евразийский национальный университе им.Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: dos_25.97@mail.ru

В современных условиях глобальной конкуренции и стремительно развивающегося технологического развития цифровизация науки является важным фактором повышения конкурентоспособности экономики. Цель исследования – выявить и количественно обосновать влияние цифровизации науки на повышение цифровой конкурентоспособности экономики Казахстана. Актуальность темы связана с необходимостью ускоренного перехода к экономике знаний, где наука и технологии являются основными источниками роста добавленной стоимости, развития высокотехнологичных производств и привлечения инвестиций. Несмотря на наличие стратегий цифрового развития и научной модернизации, Казахстан сталкивается с рядом ограничений: фрагментированность цифровой инфраструктуры, слабая интеграция науки и бизнеса, недостаточный уровень цифровых компетенций научных кадров. В ходе исследования проведен сравнительный анализ опыта Республики Корея, использованы методы эконометрического моделирования и разработан интегральный индекс цифровизации науки. Модель позволила выявить устойчивую положительную связь между уровнем цифровизации научной инфраструктуры и позицией страны в глобальном рейтинге цифровой конкурентоспособности. Установлено, что даже при умеренном росте цифровизации возможно существенное усиление инновационного потенциала и повышение эффективности научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР). Результаты подтверждают необходимость реализации комплексной государственной политики по цифровой трансформации научной сферы, включая автоматизацию процессов, развитие цифровых платформ, сотрудничество с бизнесом и усиление цифровых навыков исследователей. Полученные выводы могут служить основой для формирования стратегий научно-технологического и экономического развития Казахстана в контексте глобальных цифровых трендов.

Ключевые слова: цифровизация, инфраструктура, наука, экономика, инновация, инвестиция, искусственный интеллект.

Introduction. The rationale for the research topic is related to the increasing role of science as a key resource for sustainable development and competitiveness of the economy in the context of the transition to the digital economy and the knowledge economy. Modern scientific systems require a revision of traditional approaches to the organization of research, financing, technology

transfer and interaction with the industrial sector. The digitalization of science is becoming not just a technological modernization, but a fundamentally new paradigm of scientific activity, involving openness, interconnectedness, automation, analytical traceability and rapid commercialization of results.

The relevance of the topic is determined by both internal and external factors. First, digital transformation is becoming a priority of Kazakhstan' s state policy («Digital Kazakhstan», «Science, Technology and Innovation - 2023-2027») [1]. Secondly, competition for scientific personnel, patents and innovations is intensifying in the international arena, where the digital maturity of the scientific sphere provides countries with leading positions. Despite the steps taken in Kazakhstan, the scientific system remains fragmented by digital initiatives, weak integration with business, and limited access to global data and digital ecosystems.

The object of the research is the scientific system of Kazakhstan in the context of digital transformation. The subject of the study is the impact of the digitalization of science on the competitiveness of the economy.

The aim is to quantify and reveal the mechanisms of the impact of the digitalization of science on macroeconomic and institutional indicators of competitiveness.

Research objectives:

- analyze the current level of digitalization of science in Kazakhstan;

- Conduct a comparative analysis with the Republic of Korea;

- to develop an integral index of digitalization of science;

- build a model of the link between digitalization and the competitiveness of the economy;

- Develop practical policy recommendations.

The hypothesis of the study is that the systemic digitalization of scientific infrastructure has a significant positive impact on the growth of digital competitiveness and innovation potential of the country.

Research methods: econometric analysis, factor analysis, cross-country comparison, expert assessment, index construction. The novelty of the work is to build a quantitative model of the relationship between the digitalization of science and the macroeconomic index of digital competitiveness, as well as to identify barriers and directions of digital transformation of science in Kazakhstan [2].

The digitalization of the scientific sphere currently acts not only as a tool for modernizing the research infrastructure, but also as an important factor in the formation of sustainable competitive advantages of the national economy. The transition to the digital economy requires the government not only to increase investments in science, but also to qualitatively update the entire scientific system, including digital document management, platforms for knowledge and technology transfer, digital analytics and artificial intelligence in scientific research. Kazakhstan, as a state in an active phase of socio-economic transformation, sets itself the task of modernizing the scientific system through the introduction of digital technologies that meet international standards. In recent years, digital grant management platforms, online reporting systems, and individual elements of digital bibliometry have been emerging in the country, but the overall level of digital maturity of the scientific environment remains low. This creates obstacles to the integration of Kazakh science into the international scientific space and reduces the speed of innovative economic development. International experience, especially in South Korea, shows that the consistent digitalization of science can become a catalyst for economic growth, accelerate scientific research, strengthen technology transfer and increase the share of high-tech products in gross domestic product (GDP) [3]. In the context of global competition, Kazakhstan needs to rethink the strategic role of science in a digital society and identify key areas for its digital transformation, which requires not only institutional but also econometric foundations. The purpose of this article is to identify and quantify the impact of the digitalization of science on the competitiveness of

the economy of Kazakhstan, to determine the key parameters and conditions for the implementation of digital scientific transformation based on comparable international experience.

Materials and methods. The research is based on a comprehensive interdisciplinary approach to assessing the degree of digitalization of the scientific sphere and its impact on the competitiveness of the economy of the Republic of Kazakhstan in the context of the transformation of the global scientific and innovation agenda. Works on the digital transformation of science, knowledge economics, as well as models for assessing digital competitiveness (IMD, OECD) are used as a theoretical and methodological basis. The empirical database includes data from the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, the Committee on Statistics, the National Center for Scientific and Technical Information, international sources (IMD, World Bank, OECD, ADB), as well as digital indicators from open scientific repositories [4,5]. Special attention is paid to materials on the scientific system of the Republic of Korea as a reference example of successful digitalization and effective integration of science into the digital economy.

Methodologically, the work is based on a combination of methods of comparative analysis, factor and index modeling, as well as elements of regression analysis. The central task was to build a sound quantitative model that would allow us to determine the degree of influence of the digitalization of scientific infrastructure on the digital competitiveness of the economy. For this purpose, the integrated index of digitalization of science (IDN) was proposed, which includes such parameters as the level of digitalization of scientific administration (including automation of grant processes, reporting and accounting of R&D results), the share of scientific publications in the public domain, the prevalence of digital skills among researchers, the introduction of advanced digital solutions (artificial intelligence, big data analysis, blockchain) in research activities, as well as the degree of integration of scientific organizations into international and national digital ecosystems. All indicators are normalized and aggregated into an integral indicator that allows for cross-country comparison and time analysis.

The constructed model is based on the premise that the digitalization of the scientific sphere has a multiplicative effect on such key components of digital competitiveness as innovation activity, technology transfer, efficiency of scientific expenditures and attraction of investments in the high-tech sector. To empirically verify the hypothesis put forward, a model of the dependence of the digital competitiveness index (according to the IMD methodology) on the integral index of digitalization of science, the share of R&D in GDP and the share of joint projects of science and business was formed. The calculations were based on panel data for 2018-2024. The model has been tested for statistical significance, stability, and interpretability. Standard regression analysis tools were used: coefficient determination, remainder analysis, multicollinearity and autocorrelation testing. In addition, expert assessments (the Delphi method) were used to verify qualitative parameters of digitalization, such as the digital competencies of researchers and the digital connectivity of scientific institutions.

The study also applied comparative logic: the Republic of Korea was chosen not only because of its leadership in the digitalization of science, but also because of the structural comparability of the scientific system with Kazakhstan in terms of the number of scientific institutions, the share of budget funding and the role of the state in the strategic management of science. This allows us to draw conclusions relevant to the Kazakh context. Information materials about the Korean scientific ecosystem are obtained from open sources (KISTI, NTIS, statistics Ministry of Science and ICT). The program documents of both countries were also analyzed, including the Digital Kazakhstan strategy, the state program of scientific and technological development of the Republic of Kazakhstan for 2023-2027, and the digital strategy of South Korea in the field of science and innovation. For quantitative comparison, such

indicators as the share of open access to scientific results (in Kazakhstan - 28%, in Korea - 82%), digitalization of scientific administration (40% and 95%, respectively), the share of researchers with advanced digital skills (in Kazakhstan - 22%, in Korea - 74%) were used. the number of R&D projects using AI and Big Data (in Kazakhstan - less than 10%, in Korea - over 35%).

To achieve the objectives of the study, a set of methods was used: comparative cross-country analysis, factorial and econometric analysis, as well as methods for constructing indexes. The research is based on statistical data from the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, the World Bank, the IMD (Institute for Management Development), as well as analytical reports on science and digitalization of South Korea [6]. An integral indicator of the digitalization of science was developed, which includes the following components: the availability of digital scientific infrastructure, the degree of digitalization of management processes, the use of IT solutions in R&D, the level of digital literacy of researchers and the share of scientific publications in the public domain. Next, a linear regression model was built to analyze the impact of the digitalization of science on the digital competitiveness index of the economy:

$$C = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 R + \beta_3 B + \varepsilon$$

where:

- C - Digital competitiveness index (IMD Digital Competitiveness);

- D - science digitalization index (0–1);

- R - R&D expenditures (% of GDP);

- B - share of joint science and business projects (% of all R&D);

- ε - an accidental mistake.

The data for 2024, presented in the table below, was used for quantitative assessment.

Table 1 - Comparison of indicators of the Republic of Kazakhstan and the Republic of Korea (2024)

Indicator	Republic of Kazakhstan	Republic of Korea
Science Digitalization Index (DDD)	0,45	0,78
RD expenses (% of GDP) (RRR)	0,80	4,90
The share of science-business projects (BBB)	12 %	35 %
Digital Competitiveness Index (C)	34th place	8th place
Note. Compiled based on the source [7]		

Results and discussion. The econometric and comparative analysis revealed a number of important relationships, confirming that the level of digitalization of the scientific sphere directly affects key macroeconomic parameters, in particular the index of digital competitiveness, innovation activity and R&D productivity. The main regression model showed that the coefficient for the variable characterizing the digitalization of science (DDD) is 12.1, which indicates a high sensitivity of competitiveness to even minor changes in the level of digitalization. This means that the strategic expansion of digital infrastructure and tools in the scientific field can ensure the rapid development of not only the scientific sector itself, but also the economy as a whole due to multiplier effects. Additionally, calculations show that with the simultaneous improvement of all three indicators - the level of digitalization, the volume of R&D and the share of joint projects with businesses - it is possible to achieve an increase in the country' s digital competitiveness index by 4-6 points over 3-5 years. This is significant given the current international competition in the field of science and

technology, where even one rating point can affect investment flows and international cooperation.

In addition to the basic model, an assessment was made of the differences in the implementation of digital scientific initiatives between Kazakhstan and the Republic of Korea. The results are shown in the table:

Table 2 - Comparison of key areas of digitalization of science: Kazakhstan and the Republic of Korea in 2024

The direction of digitalization	Republic of Kazakhstan	Republic of Korea
Unified Digital Science Platform	Missing, using disparate ICS	KISTI, NTIS – integrated platforms
Open access to data and publications	Partial, non-integrated	Full, through the state platform
Automating grant allocation	Partially implemented (Science Fund)	Fully automated via KIAT
Integration of science and business	Low, 12% of projects are joint	High, more 35 %
The use of AI and Big Data in science	Local pilot projects	At the level of national scientific programs
Digital certification of results	Practically absent	Mandatory for all RD
Digital skills of scientific staff	Limited, fragmentary training	Integrated into PhD programs and Master's degree programs
Standards of open science	They are not legally fixed	Implemented and mandatory since 2020
Note – Developed by the authors		

As can be seen from the table, Kazakhstan' s lag is not so much due to the lack of basic digital solutions, but rather to the lack of a systemic strategy and coordination between participants in the scientific ecosystem. South Korea, on the contrary, was able to build a vertically integrated model of digital science, where each link - from universities to government agencies and businesses – operates within the framework of a common architecture [8]. In Kazakhstan, such elements exist in isolation and do not produce a synergistic effect. However, it is important to note that the potential for digitalization in the country remains high: the presence of technical universities, digital hubs, government support for the IT sector and the strategies «Digital Kazakhstan» and «Science, Technology and Innovation - 2023-2027» creates the necessary conditions for the transition to a digital model of science [9].

Thus, the main conclusions from the analysis are as follows: (1) the digitalization of science has a quantifiably significant impact on the economy and its competitiveness; (2) Kazakhstan' s current position in the ratings and integrated digitalization indices remains below average, but demonstrates growth potential.; (3) The gap with developed countries is due to institutional and organizational barriers, not technical impossibility; (4) with the implementation of a holistic policy of digitalization of science, a short-term increase in the country' s international position and an increase in the effectiveness of science as an industry are possible. The expected effect of improving digitalization is expressed not only in increasing ratings, but also in economic benefits: according to the calculations of the model, even with a conditional increase

in the digitalization index of science by 0.2 (for example, from 0.45 to 0.65), an increase in innovation productivity is expected by 15-18%, a reduction in transaction costs by 20% and an increase in technology transfer by 25-30%. In the long term, this translates into an increase in the share of knowledge-intensive industries in GDP, the formation of sustainable competitive advantages and a reduction in dependence on the raw materials sector.

Thus, the digitalization of science in Kazakhstan is not only a matter of modernizing the research environment, but also a strategic vector of transformation of the entire economy. It is necessary to accelerate the implementation of digital solutions, synchronize policies in science, education and innovation, as well as enhance international scientific cooperation through digital tools.

Conclusion. At the present stage, the digitalization of science in the Republic of Kazakhstan is becoming an integral part of the formation of a competitive economy focused on innovative development and integration into the global scientific and technological space. The results of the study confirm that the level of digitalization of the scientific sphere has a significant impact on macroeconomic indicators, including the country' s digital competitiveness index, R&D productivity, innovation activity and investment attractiveness of high-tech industries [10]. However, the current level of digital maturity of Kazakh science is assessed as insufficient: there is no single digital platform covering all levels of scientific activity, there is a low share of digital services in the science management system, digital analytics and automation of scientific knowledge assessment and transfer processes are poorly developed. Additionally, structural problems have been identified, such as weak integration of science and business, limited access to international digital databases, and the lack of digital mechanisms for certification and verification of research results [11].

These barriers reduce the effectiveness of public investment in science and hinder the country' s innovation potential. To overcome these problems, it is necessary to implement a comprehensive strategy for the digitalization of science, including legislative support for digital transformation, the development of a unified scientific digital ecosystem, the introduction of open science standards, digital identifiers, and ensuring the cybersecurity of scientific data. A key focus should be the stimulation of intersectoral cooperation – between science, business and government - through digital platforms for joint research and development, the use of blockchain and AI technologies to manage scientific cycles and the introduction of digital KPIs to assess scientific effectiveness [12]. In addition, it is necessary to develop digital competencies among all participants in the scientific process: researchers, teachers, managers and experts, through targeted educational programs and digital acceleration. Only in the case of a systematic approach, the digitalization of science can become a powerful catalyst for the transition to a knowledge economy and ensure Kazakhstan' s sustainable competitive advantage in the context of the fourth industrial revolution and global technological competition.

Литература

1. Сембин А.Б. Управление проектами в условиях цифровой трансформации Казахстана.-2021.- № 3(91). - С.229-234. DOI 10.46914/1562-2959-2021-1-3-229-234.

2. Dauliyeva G., Islamoglu M., Yeraliyeva A. Digital Economy as a Factor of Sustainable Development Goals Progression in Kazakhstan. //Farabi Journal of Social Sciences/ economics & management-2023.- Vol 9(2). - P.98-105. DOI 10.26577/FJSS.2023.v9.i2.010.

3. Technology and Innovation Outlook 2023//OECD. -2023.- P.1-227. DOI 10.1787/0b55736e-en.

4. Sadyrova M., Yusupov K., Imanbekova B. Innovation processes in Kazakhstan: development factors

//Journal of Innovation and Entrepreneurship. -2021.-Vol.10(1).-P.1-13. DOI 10.1186/s13731-021-00183-3.

5. Yeraliyeva A., Dauliyeva G., Andabayeva G., Nurmanova B. Effectiveness of public administration of the digital economy in Kazakhstan. Problems and Perspectives in Management. -2023.-Vol. 21(3).-P.125-137. DOI 10.21511/ppm.21(3).2023.10.

6. Wijaya J.R.T.,Manurung M. R.A.The Impact of Digitalization on Financial Accounting Practices: A Literature Review in the Scopus Database// Review of Applied Accounting Research (RAAR) -2025.-Vol.5(1).-P.53-70. DOI 10.30595/raar.v5i1.26345.

7. Turarova A.M. Dabyltayeva N.E., Ruziyeva E.A. et al. Unlocking Intersectoral Integration in Kazakhstan's Agro-Industrial Complex: Technological Innovations, Knowledge Transfer, and Value Chain Governance as Predictors// Economies. -2023.-Vol.11(8):211 DOI 10.3390/economies11080211.

8. Gafu G., D. Hernández-Torrano, N.Terlikbayeva, A. Zhanseitova. Mapping the Landscape of SDG Research in Kazakhstan: A Machine Learning–Based Approach// Journal of the Knowledge Economy.-2024.- Vol.16(5).-P.15879-15904.DOI 10.1007/s13132-024-02543-2.

9. Shevyakova A., Petrenko Y., Daribekova A., Daribekova N. Features and public financing of digitalization and E-Government: The case of Kazakhstan // Journal of Infrastructure, Policy and Development. -2024.-Vol.8(5): 3074. DOI 10.24294/jipd.v8i5.3074.

10. Хамраева Р.А., Сыздыкбаева К.Г., Омаров Г.Б. Влияние цифровых технологий на экономику Казахстана//Международный журнал информационных и коммуникационных технологий.- 2021.-Vol.1(1).-P.211-214. DOI 10.54309/IJICT.2020.1.1.068.

11. Karipbayev B.I., Zhakin S.M., Seifullina G.R. Kazakhstan's Digitalization Format: Identity and Future.//RUDN Journal of Philosophy.-2025.-Vol 29(2)-P.535-547. DOI 10.22363/2313-2302-2025-29-2-535-547.

12. Denissova O., Konurbayeva Z., Kulisz M., Yussubaliyeva M., Suieubayeva S. Measuring the Digital Economy in Kazakhstan: From Global Indices to a Contextual Composite Index (IDED)//Economies.-2025.-Vol.13(8):225 DOI 10.3390/economies13080225.

References

1. Sembin A.B. Upravlenie proektami v uslovijah cifrovoj transformacii Kazahstana.-2021.- № 3(91). -S.229-234. DOI 10.46914/1562-2959-2021-1-3-229-234. [in Russian]

2. Dauliyeva G., Islamoglu M., Yeraliyeva A. Digital Economy as a Factor of Sustainable Development Goals Progression in Kazakhstan. //Farabi Journal of Social Sciences/ economics & management-2023.-Vol 9(2). - P.98-105. DOI 10.26577/FJSS.2023.v9.i2.010.

3. Technology and Innovation Outlook 2023//OECD. -2023.- P.1-227. DOI 10.1787/0b55736e-en.

4. Sadyrova M., Yusupov K., Imanbekova B. Innovation processes in Kazakhstan: development factors //Journal of Innovation and Entrepreneurship. -2021.-Vol.10(1).-P.1-13. DOI 10.1186/s13731-021-00183-3.

5. Yeraliyeva A., Dauliyeva G., Andabayeva G., Nurmanova B. Effectiveness of public administration of the digital economy in Kazakhstan. Problems and Perspectives in Management. -2023.-Vol. 21(3).-P.125-137. DOI 10.21511/ppm.21(3).2023.10.

6. Wijaya J.R.T.,Manurung M. R.A.The Impact of Digitalization on Financial Accounting Practices: A Literature Review in the Scopus Database// Review of Applied Accounting Research (RAAR) -2025.-Vol.5(1).-P.53-70. DOI 10.30595/raar.v5i1.26345.

7. Turarova A.M. Dabyltayeva N.E., Ruziyeva E.A. et al. Unlocking Intersectoral Integration in Kazakhstan's Agro-Industrial Complex: Technological Innovations, Knowledge Transfer, and Value Chain Governance as Predictors// Economies. -2023.-Vol.11(8):211 DOI 10.3390/economies11080211.

8. Gafu G., D. Hernández-Torrano, N.Terlikbayeva, A. Zhanseitova. Mapping the Landscape of SDG Research in Kazakhstan: A Machine Learning–Based Approach// Journal of the Knowledge Economy.-2024.- Vol.16(5).-P.15879-15904.DOI 10.1007/s13132-024-02543-2.

9. Shevyakova A., Petrenko Y., Daribekova A., Daribekova N. Features and public financing of digitalization and E-Government: The case of Kazakhstan // Journal of Infrastructure, Policy and Development. -2024.-Vol.8(5): 3074. DOI 10.24294/jipd.v8i5.3074.

10. Hamraeva R.A., Syzdykbaeva K.G., Omarov G.B. Vlijanie cifrovyh tehnologij na jekonomiku Kazahstana//Mezhdunarodnyj zhurnal informacionnyh i kommunikacionnyh tehnologij.- 2021.-Vol.1(1).-P.211-214. DOI 10.54309/IJICT.2020.1.1.068. [in Russian]

11. Karipbayev B.I., Zhakin S.M., Seifullina G.R. Kazakhstan's Digitalization Format: Identity and Future.//RUDN Journal of Philosophy.-2025.-Vol 29(2)-P.535-547. DOI 10.22363/2313-2302-2025-29-2-535-547.

12. Denissova O., Konurbayeva Z., Kulisz M., Yussubaliyeva M., Suieubayeva S. Measuring the Digital Economy in Kazakhstan: From Global Indices to a Contextual Composite Index (IDED)//Economies.-2025.-Vol.13(8):225 DOI 10.3390/economies13080225

Information about the authors

Turganbayev D.A. - PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: dos_25.97@mail.ru;

Issayeva B.K. - associate professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: issayeva_bk@enu.kz;

Keznhegul M.O. - PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: manshuk.kenzhegul@mail.ru;

Seithozhina D.A. - candidate of economic sciences, associate professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: jaseit@mail.ru.

Сведения об авторах

Турганбаев Д.А.- докторант PhD, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: dos_25.97@mail.ru;

Исаева Б.К. - ассоциированный профессор, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: issayeva_bk@enu.kz;

Кенжегул М.О. - докторант PhD., Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: manshuk.kenzhegul@mail.ru;

Сейтхожина Д.А. - кандидат экономических наук, ассоциированный профессор, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: jaseit@mail.ru.

IRSTI 06.71.45 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1204**

ANALYSIS OF THE EFFECT OF CULTURAL ADAPTATION ON ACADEMIC PERFORMANCE

[1]D. Satybaldiyeva, [2]B. Keneshbayev, [3]R. Tazhibayeva, [3]S. Kaltayeva, [4]A. Mutaliyeva

[1]Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,
[2]Akhmet Yassawi University, Turkestan, Kazakhstan,
[3]International University of Tourism and Hospitality, Turkestan, Kazakhstan,
[4]Regional Innovation University, Shymkent, Kazakhstan

Correspondent-author: d.satybaldiyeva@satbayev.university

Changes and advances in areas such as communication, technology, transportation, and education have provided many opportunities for people from different cultures to live together in the same place. There are many organizational and individual strategies that are used differently to manage such intercultural interactions and differences. A new concept at the top of these strategies is cultural intelligence. This is because people with high levels of cultural intelligence can adapt quickly to the systems and social life of the country they visit, which also creates significant advantages in achieving academic success (being excellent in school, exemplary). In this context, adaptation processes and levels of achievement affect individuals to a certain extent. For this reason, this study provides an opportunity to analyze whether cultural intelligence and cultural adaptation have an impact on academic performance. Therefore, this research aims to determine the relationship between cultural intelligence and cultural adaptation and their impact on academic performance. For this reason, the sample group of the study consisted only of foreign students studying at the Khoja Ahmet Yasawi International Kazakh-Turkish University. The study surveyed a total of 275 international students, with 253 providing complete and correct responses. The results showed that participants' cultural intelligence levels were higher than their cultural adaptation levels, and that higher levels of cultural intelligence were associated with higher academic performance.

Keywords: academic performance, cultural intelligence, intercultural interactions, communication, cultural adaptation, international students.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КУЛЬТУРНОЙ АДАПТАЦИИ НА АКАДЕМИЧЕСКУЮ УСПЕВАЕМОСТЬ

[1]Д. Сатыбалдиева, [2]Б. Кенешбаев, [3]Р. Тажибаева, [3]С. Калтаева, [4]А. Муталиева

[1]Университет Сатпаева, Алматы, Казахстан,
[2]Университет Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан,
[3]Международный университет туризма и гостеприимства, Туркестан, Казахстан,
[4]Региональный инновационный университет, Шымкент, Казахстан,
e-mail: d.satybaldiyeva@satbayev.university

Изменения и достижения в таких сферах, как коммуникация, технологии, транспорт и образование, создали множество возможностей для людей из разных культур жить вместе в одном месте. Существует множество организационных и индивидуальных стратегий, которые по-разному применяются для управления такими межкультурными взаимодействиями и различиями. Одним из новых и ключевых понятий среди этих стратегий является культурный интеллект. Это объясняется тем, что люди с высоким уровнем культурного интеллекта способны быстро адаптироваться к системам и социальной жизни страны, которую они посещают, что создаёт значительные преимущества в достижении академического успеха (высокая успеваемость, примерное обучение). В этом контексте процессы адаптации и уровень достижений в определённой степени влияют на личность. Поэтому данное исследование предоставляет возможность проанализировать, оказывают ли культурный интеллект и культурная адаптация влияние на академическую успеваемость. Таким образом, цель данного исследования – определить взаимосвязь между культурным интеллектом и культурной адаптацией и их влияние на академическую успеваемость. В связи с этим

выборка исследования включала только иностранных студентов, обучающихся в Международном казахско-турецком университете имени Ходжи Ахмета Ясави. В исследовании приняли участие 275 иностранных студентов, из которых 253 предоставили полные и корректные ответы. Результаты показали, что уровни культурного интеллекта участников были выше уровней их культурной адаптации и что более высокий уровень культурного интеллекта был связан с более высокой академической успеваемостью.

Ключевые слова: академическая успеваемость, культурный интеллект, межкультурные взаимодействия, коммуникация, культурная адаптация, иностранные студенты.

МӘДЕНИ БЕЙІМДЕЛУДІҢ АКАДЕМИЯЛЫҚ ҮЛГЕРІМГЕ ӘСЕРІН ТАЛДАУ

[1]Д. Сатыбалдиева✉, [2]Б. Кенешбаев, [3]Р. Тажибаева, [3]С. Калтаева, [4]А. Муталиева

[1]Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан,
[2] Ахмет Ясауи университеті, Түркістан, Қазақстан,
[3] Халықаралық туризм және меймандостық университеті, Түркістан, Қазақстан,
[4] Аймақтық инновациялық университеті, Шымкент, Қазақстан,
e-mail: d.satybaldiyeva@satbayev.university

Коммуникация, технология, көлік және білім беру сияқты салалардағы өзгерістер мен жетістіктер әртүрлі мәдениеттерден шыққан адамдардың бір жерде бірге өмір сүруіне көптеген мүмкіндіктер берді. Мұндай мәдениетаралық өзара әрекеттестіктерді және айырмашылықтарды басқару үшін түрлі ұйымдық және жеке стратегиялар қолданылады. Бұл стратегиялардың ішінде жаңа әрі маңызды ұғым - мәдени интеллект. Себебі мәдени интеллект деңгейі жоғары адамдар барған елдің жүйелері мен әлеуметтік өміріне тез бейімделе алады, бұл академиялық табысқа (үздік оқу, үлгілі студент болу) қол жеткізуде елеулі артықшылықтар береді. Осы тұрғыда бейімделу үдерістері мен жетістік деңгейі жеке тұлғаларға белгілі бір дәрежеде әсер етеді. Сондықтан бұл зерттеу мәдени интеллект пен мәдени бейімделудің академиялық үлгерімге әсерін талдауға мүмкіндік береді. Осыған байланысты зерттеудің мақсаты - мәдени интеллект пен мәдени бейімделудің арасындағы өзара байланысты және олардың академиялық үлгерімге ықпалын анықтау. Зерттеу үлгісі Ходжа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінде оқитын шетелдік студенттермен шектелді. Зерттеуге барлығы 275 шетелдік студент қатысты, олардың 253-і толық және дұрыс жауаптар берді. Нәтижелер көрсеткендей, қатысушылардың мәдени интеллект деңгейі олардың мәдени бейімделу деңгейінен жоғары болды және мәдени интеллект деңгейі жоғары студенттердің академиялық үлгерімі де жоғары болды.

Түйін сөздер: академиялық үлгерім, мәдени интеллект, мәдениетаралық өзара әрекеттестік, коммуникация, мәдени бейімделу, шетелдік студенттер.

Introduction. The communication factor, which is the basis of human life, connects individuals, enterprises and states in today' s global world. However, this connection also creates many problems. When people from different cultures meet, work or study in the same place, and live together, some communication problems and misunderstandings arise. In order to minimize the adversarial relationship, that is, misunderstandings, between people or organizations with different cultures, the problems of adaptation and interaction that cause them must be solved.

Changes and advances in areas such as communication, technology, transportation and education provide many opportunities for people from different cultures to live together. There are many organizational and individual strategies that are used differently in intercultural interaction and managing differences. At the top of these strategies is a new concept - cultural intelligence.

Cultural intelligence is the ability to perceive, understand, interpret, and assimilate the characteristics of different cultures in order to

manage cultural differences in a multicultural environment with many cultures. People with a high level of cultural intelligence can quickly adapt to the systems and social life of the country they visit, which also creates significant advantages in achieving academic success (being excellent in school, exemplary). Therefore, this research study examines the impact of cultural intelligence and cultural adaptation on academic performance [1].

In this regard, the origin of the concept of culture comes from the Latin word ”cultura” and is used in the sense of sowing, harvesting. The first definition of the concept of culture was given in 1871 by the British anthropologist Taylor. According to him, ”culture is a complex whole consisting of knowledge, belief, art, morals, customs, and any other capabilities and habits acquired by people as members of society” [2]. Although there is no single opinion regarding the concept of intelligence, different definitions have been made in each century. Wesher defines intelligence as “the general ability of an individual to think logically and to influence his environment.” Storddad defines intelligence as “the ability of an individual to exhibit mental behavior that is difficult, complex, abstract, economically relevant, socially valuable, and has special qualities and to resist excitement” [3].

From the past to the present, cultural values have had a great influence on the concept of intelligence, and the factors that constitute intelligence vary from culture to culture. Considering the cultural structure of Western societies, the use of intelligence is seen as a sound decision. In the cultural structure of many African societies, intelligence varies according to needs and desires. Attitudes and behaviors that are defined as intelligent at the cultural level of Western societies can be judged as useless and absurd in different cultures [4].

Research on intelligence speaks of three different intellectual directions that appear in the emergence of the concept of intelligence. These are social intelligence, emotional intelligence, and cognitive intelligence. Cultural intelligence, on the other hand, is seen as different from other areas of intelligence, accepts the differences that globalization brings to life, and manifests itself in diverse, multicultural cultural environments and societies [5].

The presence of different people and societies, organizations in intercultural environments for the purpose of education, travel, work or improvement of living conditions leads to the coexistence of cultural diversity. In this context, adaptation processes and levels of achievement affect individuals to a certain extent. For this reason, this study allows us to analyze whether cultural intelligence and cultural adaptation have an impact on academic performance. It also contributes to achieving Sustainable Development Goal 4 (SDG 4) by examining the impact of cultural intelligence and cultural adaptation on academic performance. This goal also includes promoting education for sustainable development. Therefore, this research aims to determine the relationship between cultural intelligence and cultural adaptation and their impact on academic performance. It should be noted that in similar studies, methods such as the Analytic Hierarchy Process (AHP), fuzzy set theory, key indicator selection methods, and other modern approaches to multicriteria evaluation are widely used.

However, in this study, a questionnaire survey method was applied, which made it possible to obtain direct data from respondents The study examines in detail the impact of sub-dimensions of cultural intelligence and cultural adaptation on academic performance [6-8]. The data collection process during the research lasted 3 months. The sample group of the study consisted of foreign students studying at the Khoja Ahmet Yasawi International Kazakh-Turkish University. As part of the study, a total of 275 foreign students were distributed questionnaires, and 253 people provided complete and correct responses, which were used in the full research work. One of the reasons why only the Khoja Ahmet Yasawi International Kazakh-Turkish University was selected in the study is that this university addresses the need to achieve SDG 4 (ensure inclusive and equitable quality education and promote lifelong learning opportunities) by providing access to university-

level education, vocational training, and a variety of necessary skills, and they pay special attention to equity issues.

Literature review. People and societies interact with many different cultures around the world, and the way to succeed in this interaction is through cultural intelligence.

This section of the research paper reviews the literature on how to acquire and develop cultural intelligence. Triandis argued that in order for individuals to have cultural intelligence, they must have certain qualities. The first is that they must postpone thinking about others until they have the right information. A lot of information is needed to make good decisions. Since culture affects behavior and understanding, communication between cultures and the behavior of people differ in this regard. Cultures differ from each other in their characteristics. In this regard, two types of culture can be distinguished. One is collective culture, and the other is individual culture. Triandis argued that an individual increases his cultural intelligence by analyzing the positive and negative features of the culture in which he lives and of different cultures [9].

Earley et al. [10] argued that cultural intelligence is a concept that requires training, education, and training in terms of intelligence, emotion, and behavior. Intellectual education is based on categorizing individuals using various methods and giving them different names.

How we classify people around us varies from culture to culture. Behavioral training allows people to freely engage in their desired behaviors and actions, minimizing behaviors that are not generally accepted by the public. Earley and Mosakowski [11] stated that people who are able to develop their cultural intelligence are psychologically healthy and professionally successful. Earley and Mosakowski [12] also stated that cultural intelligence can be developed through a multi-stage approach (Figure 1). The first of these approaches is to analyze the strengths and weaknesses of individuals in order to determine how they can develop cultural intelligence. If we look at the relevant literature on this topic, we can see that various tools have been developed for the results of this analysis. In this context, questions have been developed that measure cultural intelligence differently, and these questions have revealed the strengths and weaknesses of individuals and formed the basis for the support and training that the individual should receive in view of this outcome. In the second stage, training, education, and training methods are selected to improve the weaknesses of the individual. In the third stage, education and training aimed at a specific individual or group begins. In the fourth stage, individuals or groups must organize their resources and opportunities around themselves to improve their weaknesses. In the fifth stage, the individual enters the cultural environment in which he must, must be. In this stage, he puts into practice what he has learned, demonstrating his strengths in terms of cultural intelligence and continuing his weaknesses. The final sixth stage is the stage of evaluation of the new skills acquired or mastered by the individual. This stage is carried out through personal feedback from the environment. After these steps, a decision is made whether the individual needs additional training or not.

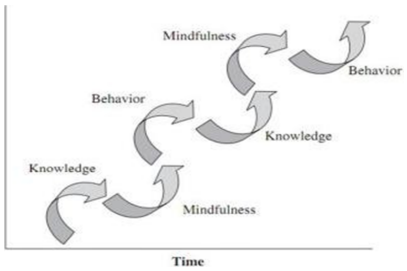


Fig.1 - The process of developing cultural intelligence

Source: Compiled by the authors based on references [11,12]

Thomas and Inkson [13] stated that experience is more effective than learning or education in developing cultural intelligence. Thomas and Inkson [13] also stated that there are many factors that contribute to the development of cultural intelligence. They stated [14, 15, 16]: The first of these factors is that individuals have little exposure to or interest in other cultures because they are accustomed to using their own culture. The second

factor is that one must be open to this situation in order to recognize and accept different cultures. The third stage, they try to accept the behaviors and rules of other cultures. Here, a detailed understanding of cultural differences begins to develop. The fourth stage, the rules of different cultures are adapted to alternative behavior. In the final fifth stage, these people are able to adapt to changes and differences more easily than other people in a multicultural environment.

According to Plum, cultural intelligence also encompasses the broader concept of culture. Culture is relevant to every organization, society, and individual. Therefore, the development of cultural intelligence is also important for the following situations [17]:

- when there is a structural change or merger in an organization, it is necessary to

achieve harmony between different cultures and create a new organizational culture;

- structures with different departments should turn working conditions and methods into advantages and solve problems;

- organizations with cross-cultural diversity should respect differences and integrate these differences into the business environment;

- in a multicultural environment, organizations with different structures (age, gender, education, race, etc.) should create effective cooperation and awareness in their workplaces.

From this perspective, cultural intelligence is the ability to absorb, perceive, interpret and accept different cultural characteristics in order to manage cultural differences in an environment where many different cultures live.

Cultural intelligence is a new phenomenon that has emerged with globalization. Therefore, we can say that cultural intelligence is a key ability that managers and employees in the 21st century must have. Cultural intelligence allows both managers and employees to adapt to different cultures, make informed and correct decisions, and establish good relationships.

In this regard, if we dwell in detail on the research conducted in the field of cultural intelligence, their brief descriptions are presented in Table 1.

Table 1 - Research conducted in the field of cultural intelligence

1	**Purpose of the research**	Identify the relationship between the five major personality factors and dimensions of cultural intelligence
	The result of the research	Openness to experience was found to be an important personality factor, related to an individual's ability to interact effectively with people from different cultures. There was a positive relationship between mindfulness and high metacognitive cultural intelligence, and high adaptability was also found to be associated with behavioral cultural intelligence
	Characteristics of participants	338 management undergraduate students participated
2	**Purpose of the research**	Identifying the role of cultural intelligence in intercultural leadership activities and practices
	The result of the research	It has been found that a leader's cultural intelligence is important in managing employees who have grown up in different cultural environments, and that the development of cultural intelligence increases in direct proportion to the time they spend living in another culture
	Characteristics of participants	32 Western European managers (including 26 Australian managers) and 19 Chinese managers participated

3	**Purpose of the research**	Determining the relationship between employees' academic performance and cultural intelligence
	The result of the research	A positive relationship was found between employees' academic performance and the motivational dimension of cultural intelligence. However, a negative relationship was found between the behavioral dimension of cultural intelligence
	Characteristics of participants	Research conducted on declining industrial sectors
4	**Purpose of the research**	Identifying the relationship between cultural intelligence and organizational commitment (dependence)
	The result of the research	A positive relationship was found between organizational commitment (dependence) and informational, motivational, and behavioral dimensions of cultural intelligence. It was found that the greater the knowledge about culture and the nature of cultural differences, the higher the commitment (dependence) to the organization
	Characteristics of participants	100 university employees in Iran participated
Note: Compiled by the authors		

Thus, a review of some relevant literature published on the topic of the study was conducted, and although it is known that many studies have been conducted on culture, organizations, organizational culture and organizational structure, it is clearly seen that there has been no adequate research on cultural intelligence and cultural adaptation and their impact on academic performance during the screening [18].

In this regard, although it is known that scientific research is being conducted on the concepts and concepts of cultural intelligence and cultural adaptation in many countries, this does not apply to Kazakhstan. There are very few local scientific studies on the concepts of cultural intelligence and cultural adaptation, they only learn and try to study it from foreign sources. This is because the concepts and concepts of cultural intelligence and cultural adaptation are very new and are just beginning to be learned.

Materials and methods. The presence of people and societies in multicultural or intercultural environments for learning or teaching, traveling, working, and other living conditions leads to the coexistence of cultural diversity. In this context, adaptation, assimilation processes, and achievement levels affect individuals to different degrees. For this reason, this research study provides an opportunity to analyze the impact of cultural intelligence and cultural adaptation on academic performance based on research findings.

This research study is an important resource or scientific literature, as it expands the concept of cultural intelligence, which is a new concept in the literature, and broadly reveals the impact of the concepts of academic performance and cultural adaptation on cultural intelligence.

The main hypotheses of the research work were also developed in accordance with the research objectives, that is, cultural intelligence as an independent variable and cultural adaptation as a dependent variable were formed between academic performance (GPA-grade point average). Therefore, there are two main hypotheses in this research work. They are:

H_1: Cultural intelligence has a significant and significant effect on academic performance;

H_2: Cultural adaptation has a significant and significant effect on academic performance.

In this regard, there are some limitations of this research work. The first limitation of the study arises from the selection of samples. The study participants (sample) were selected from the Khoja Ahmet Yasawi International Kazakh-Turkish University using the convenience (easy) sampling method. Although the convenience (easy) sampling method is a frequently used sampling method, its reliability is lower than other samples. Therefore, it can be considered a limitation of this study.

Another limitation of the study is the sample size. As part of the study, a total of 275 foreign students were surveyed, and 253 of them completed and returned complete and correct responses. Although this number was sufficient for statistical analysis, more reliable results could have been achieved with a larger sample size. Another limitation of the study is time.

The data collection process during the study lasted 3 months. Extending this period would have undoubtedly increased the sample size, but due to time constraints, this expansion was not possible.

The final limitation of the study stems from the location of the sample. The sample consisted of foreign students studying only in the cities of Turkestan and Kentau. Since a significant proportion of foreign students are students from different countries, we can say that the reliability of the results is high.

As mentioned above, the main population and sample of the study consisted of the foreign students studying at the departments of the Khoja Ahmet Yasawi International Kazakh-Turkish University in Turkestan and Kentau (preparatory, bachelor' s, master' s, doctoral studies). When selecting the research sample, a convenient (easy) sampling method was used.

The survey method was used in the study. The survey used in the study consists of three parts. The first part contains 5 questions to determine the demographic characteristics of the study participants. The second part of the survey contains a 20-question ”Cultural Intelligence” scale aimed at determining the cultural intelligence of the participants. The last part of the study contains a 14-item ”Cultural Adaptation” scale used to measure the cultural adaptation of the participants.

The Cultural Intelligence Scale included in the questionnaire was developed by Ang and colleagues [5]. This scale consists of 20 items (questions) (KZ1...-...KZ20). The scale consists of four dimensions: “Higher Cognitive (Metacognitive)”, “Cognitive (Cognitive)”, “Motivational” and “Behavioral”, which allow individuals to effectively conduct their activities in different cultural environments or multicultural environments and be successful in that environment. The scale aims to objectively reveal individuals' perceptions of culture. The scale used a 5-point Likert method, coded as “strongly disagree”, “disagree”, “unsure”, “agree” and “strongly agree”. Items 1, 2, 3 and 4 of the scale indicate “Higher Cognitive (Metacognitive) Intelligence”; Items 5, 6, 7, 8, 9, and 10 measure “Cognitive Intelligence”; items 11, 12, 13, 14, and 15 measure “Motivational Intelligence”; and items 16, 17, 18, 19, and 20 measure “Behavioral Intelligence.” Levels of cultural intelligence were determined according to the total score obtained on the scale. An individual with a high score was considered to have high cultural intelligence. A similar interpretation is valid for the smaller dimensions of the scale.

The Cultural Adaptation Scale included in the questionnaire was developed by Black [19] and Black & Stephen [20]. This scale consists of 14 items (questions) (KA1...-...KA14). The scale consists of three dimensions: ”Physical Adaptation”, ”Social Adaptation”, and ”Work Environment Adaptation”. The scale uses a 5-point Likert scale coded as ”completely incompatible”, ”somewhat compatible”, ”compatible”, and ”completely compatible”. Items 1, 2, 3, 5, 6, and 7 of the scale measure ”Physical Adaptation”; items 8, 9, 10, and 11 measure ”Social Adaptation”; and items 11, 12, 13, and 14 measure ”Work Environment Adaptation”.

The data obtained from the survey were analyzed using SPSS 23 and AMOS 23 data analysis software. In addition, “Descriptive Statistics”, “Confirmatory Factor Analysis” and “Structural Equation Modeling” were used in the analysis of the

data and data.

As mentioned above, the main population and sample of the study which foreign students studying at the International Kazakh-Turkish University named after Khoja Akhmet Yassawi (preparatory, undergraduate, graduate, doctoral). The demographic characteristics and characteristics of the sample are summarized in Table 2.

Table 2 - Demographic features and characteristics of participants

		Frequency	Share (%)	Eliglibe Share (%)	Total Share (%)
Gender	**Female**	145	57,3	57,3	57,3
	Male	108	42,7	42,7	100,0
	All	253	100,0	100,0	
Age	**18-24**	118	46,6	46,6	46,6
	25-31	94	37,2	37,2	83,8
	32-38	31	12,3	12,3	96,0
	39-45	4	1,6	1,6	97,6
	46 ≤	6	2,4	2,4	100,0
	All	253	100,0	100,0	
Country	**Turkey**	33	13,0	13,0	13,0
	Russia, China, Mongolia	100	39,5	39,5	52,6
	Central Asia	106	41,9	41,9	94,5
	Other	14	5,5	5,5	100,0
	All	253	100,0	100,0	
GPA	**1.50 - 1.99**	2	0,8	0,8	0,8
	2.00 - 2.49	16	6,3	6,3	7,1
	2.50 - 2.99	33	13,0	13,0	20,2
	3.00 - 3.49	107	42,3	42,3	62,5
	3.50 - 4.00	95	37,5	37,5	100,0
	All	253	100,0	100,0	
Note: Compiled by the author					

As shown in Table 2, of the foreign students who participated in the study, 145 (57.3%) were female and 108 (42.7%) were male. The majority of participants (46.6%) were under 24 years of age.41.9% of participants came from Central Asian countries, 39.5% from Russia, China, Mongolia, 13.0% from Turkey, and the remaining 5.5% were students from other countries. The study assessed students' academic performance using the average score. The analysis revealed that a significant proportion of foreign students (approximately 80%) who participated in the study had an average GPA of at least 3. In other words, the study was conducted with students who were good and very good students, that is, participants.

As mentioned in the previous section, the

"Cultural Intelligence Scale" developed by Ang and colleagues [21] was introduced and used in the survey. In the following part of the study, basic statistical information on cultural intelligence, cultural adaptation and their subscales: arithmetic means and standard deviations were calculated, and the results obtained are summarized in Table 3.

Table 3 - Basic statistical information regarding cultural intelligence, cultural adaptation and their subscales

	N	Arithmetic mean	Standard deviation
Cultural Intelligence	253	3,8731	0,49210
Cultural Adaptation	253	3,4593	0,57254
Metacognitive Intelligence	253	4,2069	0,69566
Cognitive Intelligence	253	3,3887	0,68880
Motivational Intelligence	253	4,0731	0,66225
Behavioral Intelligence	253	3,8237	0,71052
Physical Adaptation	253	3,4608	0,61407
Social Adaptation	253	3,4585	0,71044
Work Environment Adaptation	253	3,4585	0,74752
Note: Compiled by the author			

When examining Table 3, it was found that the participants had above average cultural intelligence and cultural adaptation. In general, it was also observed that the participants' cultural intelligence levels (3.87) were higher than their cultural adaptation levels. It was also found that the participants had high levels of metacognitive intelligence, while their cognitive intelligence levels were relatively low. It was also observed that all sub-dimensions of cultural adaptation were at the same level.

In the next part of the study, the relationship between cultural intelligence, which was used as one of the main variables in the study, and metacognitive, cognitive, motivational, and behavioral intelligences, which are sub-dimensions of cultural intelligence, and academic performance, was examined through correlation analysis. The results obtained are presented in Table 4 below.

As can be seen from Table 4, positive and significant relationships were found between the cultural intelligence of the foreign students participating in the study and their academic performance (grade point average) in all subscales except the subscale called cognitive intelligence ($p<0.05$). In other words, the increase in the cultural intelligence of the foreign students participating in the study also increases their grade point average (grade point average).

Another key variable used in the study was cultural adaptation and the relationship between the subscales of cultural adaptation, physical adaptation, social adaptation, and work environment adaptation, and academic performance, which were also examined through correlation analysis, and the results are summarized in Table 5 below.

As can be seen from Table 5, there were positive and significant relationships ($p<0.05$) between the cultural adaptation of the foreign students participating in the study and all subscales of cultural adaptation and their academic performance (average grades). In other words, the increase in cultural adaptation of the foreign students participating in the study also increases their average grades (progress).

In this section of the study, the relationships between cultural intelligence and its subscales and cultural adaptation and its subscales were analyzed. The results obtained as a result of the correlation analysis are summarized in Table 6.

Table 4 - Results of correlation analysis on cultural intelligence, its subscales, and academic performance

№	**Name**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
1	Average score	1					
2	Cultural intelligence	,216**	1				
3	Metacognitive intelligence	,178**	,700**	1			
4	Cognitive intelligence	,035	,684**	,310**	1		
5	Motivational intelligence	,185**	,752**	,451**	,278**	1	
6	Behavioral intelligence	,217**	,721**	,241**	,362**	,441**	1
Note: Compiled by the author							

*p<0,05 **p<0,01

Table 5 - Results of correlation analysis regarding cultural adaptation, its subscales, and academic performance

№	**Name**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
1	Average score	1					
2	Cultural intelligence	,216**	1				
3	Metacognitive intelligence	,178**	,700**	1			
4	Cognitive intelligence	,035	,684**	,310**	1		
5	Motivational intelligence	,185**	,752**	,451**	,278**	1	
6	Behavioral intelligence	,217**	,721**	,241**	,362**	,441**	1
Note: Compiled by the author							

*p<0,05 **p<0,01

Table 6 - Correlation analysis between cultural intelligence and its subscales and cultural adaptation and its subscales

№	**Name**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
1	Cultural Intelligence	1								
2	Cultural Adaptation	,339**	1							
3	Metacognitive Intelligence	,700**	,173**	1						
4	Cognitive Intelligence	,684**	,311**	,310**	1					
5	Motivational Intelligence	,752**	,219**	,451**	,278**	1				

6	Behavioral Intelligence	,721**	,266**	,241**	,362**	,441**	1			
7	Physical Adaptation	,298**	,816**	,173**	,238**	,174**	,262*	1		
8	Social Adaptation	,271**	,817**	,111*	,260**	,180**	,222*	,507*	1	
9	Work Environment Adaptation	,278**	,851**	,149*	,272**	,188**	,185*	,572*	,510*	1
Note: Compiled by the author										

*p<0,05 **p<0,01

As can be seen from Table 6, positive and significant relationships were also found between cultural intelligence and all its subscales and cultural adaptation and all its subscales (p<0.05).

The information obtained after the structural model analysis performed with the AMOS program to test the main hypotheses of the study is shown in Table 7.

Table 7 - Relationships and coefficients in a structural model

			Prediction coefficient	**Standard error**	**C.R.**	**P**
Average grade	<—	Cultural Intelligence	,306	,119	2,561	,010
Average grade	<—	Cultural Adaptation	,233	,103	2,266	,023
Note: Compiled by the author						

As shown in Table 7, the analysis revealed a significant relationship (effect) between all variables at the p<0.05 significance level. The analysis revealed a positive and significant relationship (ß=0.306) between cultural intelligence and academic performance (average grade) and a positive and significant relationship (ß=0.233) between cultural adaptation and academic performance (average grade). In other words, the main hypotheses of the study, H_1 and H_2, were accepted.

Results and discussion. In general, this research paper examined in detail the concepts of cultural intelligence and cultural adaptation, which can be used as a new strategy for managing differences in intercultural communication. In other words, this work was conducted to identify and explain the relationship between cultural intelligence, which is a new concept in the field of intercultural communication and adaptation, and cultural adaptation on academic performance. The results of this study showed how important the concepts of cultural intelligence and cultural adaptation are. Also, as a result of the study, we can say that in order to successfully establish and successfully continue intercultural communication, it is necessary to develop and effectively use the phenomenon of cultural intelligence. People with high cultural intelligence can easily solve problems that may arise from different cultures and successfully conduct the processes arising from such interactions. In the future, people who will succeed in different cultures will be those who increase their levels of cultural intelligence.

For this reason, people should effectively master and use the phenomenon of cultural intelligence. Therefore, this research paper is an important resource or scientific literature, because it expands the concept of cultural intelligence, which is a new concept in the literature, and widely reveals the impact of the concepts of academic performance and cultural adaptation on cultural intelligence.

If we focus on the results of the study individually, it was found that the cultural intelligence and cultural adaptation of the foreign

students who participated in the study were above average. In general, it was also observed that the cultural intelligence levels of the participants were higher than their cultural adaptation levels. In addition, it was found that the participants had high levels of metacognitive intelligence, while their cognitive intelligence levels were relatively low. It was also observed that all subscales of cultural adaptation were at the same level.

However, positive and significant relationships were found between the cultural intelligence of the foreign students who participated in the study and their academic performance (average grades) in all subscales except the subscale called cognitive intelligence ($p<0.05$). In other words, an increase in the cultural intelligence of the foreign students who participated in the study also increases their average grades (progress). However, a positive and significant relationship was found between the cultural adaptation of the foreign students participating in the study and all subscales of cultural adaptation and their academic performance (grade point average) ($p<0.05$). In other words, the increase in the cultural adaptation of the foreign students participating in the study also increases their grade point average (progress).

The overall analysis revealed a positive and significant relationship (ß=0.306) between cultural intelligence and academic performance (average grade) and a positive and significant relationship (ß=0.233) between cultural adaptation and academic performance (average grade). In other words, the main hypotheses of the study, H1 and H2, were accepted.

It was also noted that the results obtained were consistent with the results of previous similar studies. Therefore, the results of this study will guide future research in the field of cultural intelligence and provide the following recommendations:

- individuals will be more effective in adapting to cultural differences outside their own culture when interacting with people from that culture.

- an important element in intercultural interaction and an important factor in ensuring successful integration is the language knowledge of that culture. For this reason, participants should be fluent in the language of the culture they live in.

- future studies can investigate the impact of cultural intelligence on an individual' s personality and how people' s presence in different cultural environments can affect their personality. Therefore, in future studies, the dimensions of cultural intelligence can be considered separately.

Conclusion. This study empirically examined the effect of cultural intelligence and cultural adaptation on the academic performance of international students studying at Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University. The findings demonstrate that cultural intelligence - particularly its metacognitive and motivational dimensions - serves as a strong predictor of students' academic success, whereas the cognitive dimension shows a comparatively weaker influence. Similarly, adaptation to the physical, social, and academic/work environment emerged as a significant determinant of academic outcomes, indicating that adjustment challenges extend beyond cultural knowledge and encompass students' everyday interactions, emotional comfort, and integration into the learning ecosystem.

These results are broadly consistent with previous studies emphasizing the critical role of cultural adaptation in educational attainment. For instance, research by Earley & Mosakowski (2004) [12], Templer et al. (2006) [14], and Berry (2005) [4] similarly report that higher cultural adjustment is associated with lower acculturative stress and better academic outcomes among international students. Furthermore, our findings regarding the metacognitive and motivational components of cultural intelligence align with Ang et al. (2007) [5], who argue that students capable of regulating cultural knowledge and maintaining motivation in diverse environments are more likely to succeed academically. The weaker influence of the cognitive dimension also echoes earlier empirical studies demonstrating that mere cultural knowledge is insufficient without the ability to apply it effectively in real social contexts.

Beyond theoretical alignment, the results

have important practical implications for higher education management. Universities hosting international students must recognize that cultural adaptation is not an automatic process but a developmental trajectory requiring systematic support. Intercultural communication training, language assistance, mentorship programs, and socially inclusive campus environments can substantially improve students' adjustment experiences. Academic advisors and faculty should also be trained to recognize cultural barriers that may hinder performance and provide culturally responsive pedagogical strategies.

Moreover, strengthening institutional support systems contributes not only to individual student performance but also to broader policy goals. Enhancing cultural adaptation aligns with Sustainable Development Goal 4 by ensuring equitable, inclusive, and quality education for diverse student groups. As higher education becomes increasingly internationalized, universities that invest in cultural intelligence development and structured adaptation programs will be better positioned to attract, retain, and empower global learners.

In conclusion, the study reaffirms that cultural intelligence and cultural adaptation are foundational to the academic success of international students. Future research could further explore longitudinal effects, mediating variables such as acculturative stress or social support, and comparative analyses across different cultural or institutional contexts. Such extensions would deepen our understanding of how multicultural learning environments can be designed to unlock the full academic potential of international student populations.

References

1. . Tang L., Zhang Ch., Cui Y. Beyond borders: The effects of perceived cultural distance, cultural intelligence, cross-cultural adaptation on academic performance among international students of higher education // International Journal of Intercultural Relations. -2024. -Vol.103: 102083. DOI 10.1016/j.ijintrel.2024.102083.

2. . Robert B. A Formal Concept of Culture in the Classification of Alfred L. Kroeber and Clyde Kluckhohn // Analecta. -2016. -Vol. XXV. -P.61–101.

3. Fiori M., Vesely-Maillefer A.K. Emotional Intelligence as an Ability: Theory, Challenges, and New Directions // Emotional Intelligence in Education. -2018. -P.23-47. DOI 10.1007/978-3-319-90633-1_2.

4. Berry J.W., Colleen W. Commentary on Redefining Interactions Across Cultures and Organizations // Group & Organization Management. -2006. -Vol.31(1). -P.64-78. DOI 10.1177/1059601105275264.

5. Ang S., Van Dyne L., Koh C., Ng K.Y., Templer K.J., Tay C., Chandrasekar N.A. Cultural Intelligence: Its Measurement and Effects on Cultural Judgment and Decision Making, Cultural Adaptation and Task Performance // Management and Organization Review. -2007. -Vol.3 (3). -P.335-371. DOI 10.1111/j.1740-8784.2007.00082.x.

6. Khoja Ahmet Yassawi International Kazakh–Turkish University. University website. – URL: https: //ayu.edu.kz/en/2795/surdurulebilir-kalkinma-hedefleri. –Date of access: 02.08.2025.

7. Satybaldiyeva D., Mukhanova G., Tymbayeva Zh., Tyshkanbayeva M., Bolatkyzy S. Applying the expert method to determine a company's strategic goals // Transport Problems. -2023. -Vol.18 (2). -P. 123–132. DOI 10.20858/tp.2023.18.2.11

8. Tymbayeva Zh., Satybaldiyeva D., Kakitayeva Zh., Kazhmuratova A. Evaluation of the Feasibility of Maintaining Sustainable Consumer Behavior Among Generation Z Youth in Almaty// Eurasian Journal of Economic and Business Studies. -2024. -Vol.68 (4). -P.5–17. DOI 10.47703/ejebs.v68i4.428.

9. Triandis H.C. Cultural Intelligence in Organisations // Group & Organisation Management. -2006. -Vol.31 (1). -P.20–26. DOI 10.1177/1059601105275253.

10. Earley P.Ch., Ang S., Tan J.S. CQ: Developing Cultural Intelligence at Work //California: Stanford University Press. -2006. DOI 10.1515/9781503619715.

11. Earley P.Ch., Mosakowski E. Cultural intelligence // Harvard Business Review. -2004. -Vol.82 (10). -P.139–146: 158. DOI 10.1007/978-3-8349-8724-2_4.

12. Earley P.Ch., Mosakowski E. Toward culture intelligence: turning cultural differences into a workplace advantage //Academy of Management Perspectives. -2004. -Vol.18 (3). -P.151–157. DOI 10.5465/AME.2004.28561784.

13. Thomas D.C., Inkson K. Cultural Intelligence: People skills for a global workplace/ Berrett-Koehler Publishers. -2004. -240 p. ISBN-13 978-1576752562.

14. Templer K.J., Cheryl T., Anand N.Ch. Motivational Cultural Intelligence, Realistic Job Preview, Realistic Living Conditions Preview, and Cross-cultural Adjustment // Group & Organization Management. -2006. -Vol.31 (1). -P.154–173. DOI 10.1177/1059601105275293.

15. Burhanuddin B., Ben F., Supriyanto A., Sunandar A., Sunarni S., Sumarsono R.B. Effects of university organizational culture on student academic behavior in Indonesia // International Journal of Educational Management. -2024. -Vol.38 (2). -P.549–567. DOI 10.1108/IJEM-11-2023-0553.

16. Yeşil S. Kültürel Farklılıkların Yönetimi ve Alternatif Bir Strateji: Kültürel Zeka// Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Ve Ekonomik Araştırmalar Dergi. -2009. -Vol.11 (16). -P.100–131. [in Turkish]

17. Moran R.T., Harris P.R., Moran S.V. Managing Cultural Differences: Global Leadership Skills and Knowledge for the 21st Century, 8th ed./Routledge. -2011. -586 p. DOI https://doi.org/10.4324/9781856179249.

18. Sheng L., Dai J., Lei J. The impacts of academic adaptation on psychological and sociocultural adaptation among international students in China: The moderating role of friendship // International Journal of Intercultural Relations. -2022. -Vol.8(6). -P.79–89. DOI 10.1016/j.ijintrel.2022.06.001.

19. Black J. Work Role Transitions: A Study of American Expatriate Managers in Japan // Journal of International Business Studies. -1988. -Vol.19. -P.277–294. DOI 10.1057/palgrave.jibs.8490383.

20. Black J.S., Stephens G.K. The influence of the spouse on American expatriate adjustment and intent to stay in Pacific Rim overseas assignments // Journal of Management. -1989. -Vol.15 (4). -P. 529–544. DOI 10.1177/014920638901500403.

21. Ang S., Van Dyne L., Koh C. Personality Correlates of the Four-Factor Model of Cultural Intelligence // Group & Organization Management. -2006. -Vol.31 (1). -P.100–123. DOI 10.1177/1059601105275267.

Сведения об авторах

Сатыбалдиева Д.О. - PhD, ассоциированный профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет им.К.И.Сатпаева, Алматы, Казахстан, e-mail:d.satybaldiyeva@satbayev.university;

Кенешбаев Б.Ж. - PhD, старший преподаватель, Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан, e-mail: keneshbayev_bektur@ayu.edu.kz;

Тажибаева Р.М. - к.э.н., ассоциированный профессор (доцент), Международный университет туризма и гостеприимства, Туркестан, Казахстан, e-mail raihan.tazhibaeva@iuth.edu.kz;

Калтаева С.А. - к.э.н., ассоциированный профессор (доцент), Международный университет туризма и гостеприимства, Туркестан, Казахстан, e-mail saule.kaltaeva@iuth.edu.kz;

Муталиева А.А. - PhD, старший преподаватель, Региональный инновационный университет, Шымкент, Казахстан, e-mail: Alua012@mail.ru.

Information about the authors

Satybaldiyeva D.O. - PhD, Associate Professor, K.I. Satbayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: d.satybaldiyeva@satbayev.university;

Keneshbayev B.Zh. - Ph.D., Senior Lecturer, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh–Turkish University, Turkestan, Kazakhstan, e-mail: keneshbayev_bektur@ayu.edu.kz;

Tazhibayeva R.M. - Candidate of Economic Sciences, Associate Professor (Docent), International University of Tourism and Hospitality, Turkestan, Kazakhstan, e-mail: raihan.tazhibaeva@iuth.edu.kz;

Kaltayeva S.A. - Candidate of Economic Sciences, Associate Professor (Docent), International University of Tourism and Hospitality, Turkestan, Kazakhstan, e-mail: saule.kaltaeva@iuth.edu.kz;

Mutaliyeva A.A. - PhD, Senior Lecturer, Regional Innovation University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: Alua012@mail.ru.

IRSTI 06.81.55 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1203**

ECONOMIC ANALYSIS OF DIGITAL HEALTHCARE DEVELOPMENT IN THE EAST KAZAKHSTAN REGION

[1]A. Maldynova, [2]N. Aidargaliyeva, [3]D. Mussabalina, [4]Zh.S. Abdrakhmanova, [5]T. Demesinov

[1]Kenzhegali Sagadiyev University of International Business, Almaty, Kazakhstan,
[2]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[3]Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan,
[4]D.Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,
[5]Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Kokshetau, Kazakhstan

Corresponding author: maldynova.a@uib.kz

The digitalization of healthcare is becoming a crucial factor in improving the efficiency and accessibility of medical services worldwide. In Kazakhstan, the level of digital transformation remains uneven across regions. This research focuses on the East Kazakhstan Region, aiming to evaluate the impact of digitalization on healthcare services and identify the relationship between ICT integration and key demographic indicators.

The research is based on statistical data from the Bureau of National Statistics of Kazakhstan, Ministry of Healthcare reports, and international sources covering the period 2020–2024. Methods applied include comparative and statistical analysis, trend modeling, and geographical contextualization with emphasis on regional healthcare infrastructure in Ust-Kamenogorsk.

The research revealed a positive correlation between the increase in ICT specialists and improvements in mortality indicators, particularly maternal mortality. Results demonstrate a twofold increase in computer literacy among healthcare employees, significant growth in internet usage for professional tasks, and progressive but uneven adoption of ICT across healthcare institutions. Despite positive dynamics, challenges persist: insufficient funding for ICT, shortage of cybersecurity specialists, and limited training opportunities.

The novelty of this research lies in its regional focus: it is the first systematic analysis of healthcare digitalization in the East Kazakhstan Region. The findings extend existing theoretical frameworks by incorporating regional heterogeneity and provide practical insights for policymakers to enhance digital healthcare strategies in Kazakhstan.

Keywords: economics, economics of medical services, e-health, socio-economic development, digitalization, information and communication technologies.

ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ДЕНСАУЛЫҚ САҚТАУДЫҢ ДАМУЫНЫҢ ЭКОНОМИКАЛЫҚ ТАЛДАУЫ

[1]А.В. Малдынова, [2]Н. Айдарғалиева, [3]Д. Мұсабалина, [4]Ж.С. Әбдрахманова, [5]Т.Ж. Демесинов

[1]Кенжеғали Сағадиев атындағы Халықаралық бизнес университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
[3]Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан,
[4]Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан,
[5]Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті, Көкшетау, Қазақстан,
e-mail: maldynova.a@uib.kz

Денсаулық сақтауды цифрландыру бүкіл әлем бойынша денсаулық сақтау қызметтерінің тиімділігі мен қолжетімділігін арттырудың маңызды факторына айналуда. Қазақстанда цифрлық трансформация деңгейі өңірлер бойынша біркелкі емес. Бұл зерттеу Шығыс Қазақстан облысына бағытталған және цифрландырудың денсаулық сақтау қызметтеріне әсерін бағалауға және АКТ интеграциясы мен негізгі демографиялық көрсеткіштер арасындағы байланысты анықтауға бағытталған.

Зерттеу Қазақстан Республикасы Ұлттық статистика басқармасының статистикалық деректеріне, Денсаулық сақтау министрлігінің есептеріне және 2020–2024 жылдарға арналған халықаралық ақпарат көздеріне негізделген. Пайдаланылған әдістерге салыстырмалы және статистикалық талдау, трендтерді модельдеу және Өскемендегі денсаулық сақтаудың өңірлік инфрақұрылымына назар аудара отырып, географиялық контекстуализация кіреді.

Зерттеу АКТ мамандарының санының артуы мен өлім-жітім көрсеткіштерінің, әсіресе ана өлімінің жақсаруы арасындағы оң корреляцияны анықтады. Нәтижелер медицина қызметкерлерінің компьютерлік сауаттылығының екі есе артқанын, Интернетті кәсіби мақсатта пайдаланудың айтарлықтай артқанын және денсаулық сақтау мекемелерінде АКТ-ның біртіндеп, бірақ біркелкі емес енгізілуін көрсетеді. Оң динамикаға қарамастан, проблемалар сақталуда: АКТ-ны қаржыландырудың жеткіліксіздігі, киберқауіпсіздік мамандарының тапшылығы және оқыту мүмкіндіктерінің шектеулілігі. Бұл зерттеудің жаңалығы оның аймақтық бағытталуында: бұл Шығыс Қазақстан облысындағы денсаулық сақтау саласын цифрландырудың бірінші жүйелі талдауы. Нәтижелер аймақтық әркелкілікті ескере отырып, қолданыстағы теориялық негізді кеңейтеді және саясаткерлерге Қазақстандағы цифрлық денсаулық сақтау стратегияларын жетілдіру бойынша практикалық ұсыныстар береді.

Түйін сөздер: экономика, медициналық қызмет көрсету экономикасы, электрондық денсаулық сақтау, әлеуметтік-экономикалық даму, цифрландыру, ақпараттық-коммуникациялық технологиялар.

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОГО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ В ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

[1]А.В. Малдынова✉, [2]Н. Айдаргалиева, [3]Д. Муссабалина, [4]Ж.С. Абдрахманова, [5]Т.Ж. Демесинов

[1]Университет международного бизнеса имени Кенжегали Сагадиева, Алматы, Казахстан,
[2]Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, Астана, Казахстан,
[3]Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан,
[4]Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан,
[5]Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова, Кокшетау, Казахстан,
e-mail: maldynova.a@uib.kz

Цифровизация здравоохранения становится важнейшим фактором повышения эффективности и доступности медицинских услуг во всем мире. В Казахстане уровень цифровой трансформации остается неравномерным по регионам. Данное исследование сосредоточено на Восточно-Казахстанской области и направлено на оценку влияния цифровизации на медицинские услуги и выявление взаимосвязи между интеграцией ИКТ и ключевыми демографическими показателями.

Исследование основано на статистических данных Национального статистического управления Республики Казахстан, отчётах Министерства здравоохранения и международных источниках за период 2020–2024 годов. Применённые методы включают сравнительный и статистический анализ, моделирование тенденций и географическую контекстуализацию с акцентом на региональную инфраструктуру здравоохранения в Усть-Каменогорске.

Исследование выявило положительную корреляцию между увеличением числа специалистов в области ИКТ и улучшением показателей смертности, особенно материнской. Результаты демонстрируют двукратный рост компьютерной грамотности медицинских работников, значительный рост использования интернета в профессиональных целях и постепенное, но неравномерное внедрение ИКТ в медицинских учреждениях. Несмотря на положительную динамику, сохраняются проблемы: недостаточное финансирование ИКТ, нехватка специалистов по кибербезопасности и ограниченные возможности обучения. Новизна данного исследования заключается в его региональной направленности: это первый систематический анализ цифровизации здравоохранения в

Восточно-Казахстанской области. Результаты расширяют существующие теоретические основы, учитывая региональную неоднородность, и предоставляют политикам практические рекомендации по совершенствованию стратегий цифрового здравоохранения в Казахстане.

Ключевые слова: экономика, экономика медицинских услуг, электронное здравоохранение, социально-экономическое развитие, цифровизация, информационно-коммуникационные технологии.

Introduction. In recent decades, digitalization has become a key area of transformation of socio-economic systems, including healthcare. Many countries have accumulated significant experience in implementing electronic medical records, telemedicine, and patient flow management systems, which has improved the efficiency of medical care. In the Republic of Kazakhstan, this process is also actively developing, but the level of digital integration of medical services in the regions remains uneven. The East Kazakhstan region is an interesting object of research due to the specifics of its demographic structure, the remoteness of individual settlements and differences in the availability of medical infrastructure [1].

It is important to note that in 2022 the East Kazakhstan Region underwent administrative restructuring, resulting in the establishment of the Abai Region. This territorial change affects the comparability of statistical indicators across the period analyzed. Therefore, data for 2020-2022 reflect the unified region, while indicators from 2023-2024 capture already reorganized administrative boundaries. This factor must be considered when interpreting trends in digital healthcare development.

The relevance of the topic is due to the need to improve the quality and accessibility of medical services for the population of the East Kazakhstan region in conditions of limited resources. Digital technologies make it possible to solve several critical problems: reduce waiting times, improve diagnostics, increase transparency and efficiency of patient interactions with medical organizations. In the post-pandemic period, digitalization of healthcare is becoming not only a tool for improving the quality of services, but also the most important factor in the sustainability of the entire healthcare system in the region [2]. The aim of the study is to analyze the impact of digitalization on the medical services market in the East Kazakhstan region and identify key areas of its development.

Most studies focus on the macro level - studying the digitalization of healthcare on a national scale. At the same time, regional features, such as the specifics of the East Kazakhstan region, remain insufficiently covered. The relationship between the level of digitalization and such indicators as the quality of medical services, patient satisfaction and the efficiency of medical personnel have also been insufficiently studied. The main problem is the insufficient empirical research of the impact of digital technologies on the regional market of medical services. The proposed solution is to conduct a comprehensive analysis of the digitalization of healthcare in the East Kazakhstan region based on statistical data, comparative analysis and forecast models. This approach will fill the identified gaps and offer practical recommendations for improving the digital infrastructure of healthcare in the region [3]. The novelty of the study lies in the fact that for the first time it presents a systemic analysis of the impact of digitalization on the medical services market of the East Kazakhstan region. Unlike existing works, the emphasis is on regional specifics and the relationship of digital technologies with socio-economic indicators in healthcare. The results of the study allow us to clarify the role of digital tools in increasing the sustainability of the regional healthcare system and to develop proposals for further digital transformation.

The growth of Internet penetration in Kazakhstan creates the preconditions for the expansion of telemedicine services, but an imbalance between urban and rural areas remains. According to DataReportal [4], the level of Internet access in Kazakhstan has reached 91%, but significant differences are observed by region. Freedom House [5] emphasizes that although mobile Internet covers

up to 94% of the population, the quality and stability of connections remain a problem in remote areas. A UNICEF study [6] shows that satellite solutions can provide equal access to digital education and healthcare in rural areas. Forecasts of the Internet Society [7], which notes Kazakhstan' s dependence on external data transmission channels, which reduces the resilience of digital services. In the global context, the basis for digital transformation is the WHO Global Strategy on Digital Health 2020–2025 [8, 9], which highlights the priorities of interoperability, data protection and personnel training. In Kazakhstan, the key regulatory act is the Code "On Public Health and the Healthcare System" [10], which enshrines provisions on remote medical services. According to the Intelehealth review [11], Kazakhstan is among the countries that have "mandatory" regulation of telemedicine at the level of national law. Publications of Integrated Approaches for Digital Health Transformation [12] demonstrate the active development of digital services through the eGov platform and the Damumed medical system, which provide an appointment with a doctor, access to test results and electronic interaction of the patient with the system.

International studies show that weak integration of systems and the lack of full interoperability remain one of the key barriers to digital healthcare. OECD [13] emphasizes that fragmentation of electronic medical platforms reduces efficiency and leads to duplication of processes. Analysis by Bhaskar et al. [14] confirms that successful implementation of telemedicine requires standardization and secure data exchange. In the US and EU, Pulse of the MedTech industry Report have proven their effectiveness in coordinating care [15], but in Kazakhstan, as noted by Seleznev et al. [16], there remain significant differences in the level of digitalization between regions, which is reflected in the East Kazakhstan region. COVID-19 has become a catalyst for the widespread adoption of telemedicine, demonstrating its potential to increase the availability of care. Telemedicine technologies, if properly regulated, are not inferior in quality to face-to-face consultations. In Kazakhstan, several empirical studies focus on patient perceptions of service quality. Shaki et al. [17] studied satisfaction in Almaty and found a positive impact of online consultations on trust in the system. Similar results were recorded in Astana, indicating an increase in patient satisfaction when using digital services. Moreover, Utegenova et al. [18] describe a successful pilot of telemedicine screening for cervical cancer in rural areas, demonstrating the potential of digitalization to reduce barriers to accessing specialized care.

WHO [19] notes that Kazakhstan has moved from paper registries to digital platforms over the past ten years, but sustainable transformation requires a significant expansion of the competencies of health workers. New challenges are associated not only with the use of basic HIS, but also with the integration of telemedicine, mobile applications and remote monitoring systems. The lack of digital skills among health workers in the regions, including Eastern Kazakhstan, is confirmed by UNICEF reports [20].

The medical sector worldwide remains one of the most vulnerable areas to cyber threats. According to the research of Kropachev P. [21], the number of attacks on medical organizations is growing annually, and the consequences include disruption of the continuity of care. In Kazakhstan, as emphasized by the OSCE [22], efforts are being made to develop public-private partnerships in the field of cyber resilience, but systemic risks remain significant.

Financing digital health requires sustainable models. Kazakhstan is gradually building mechanisms for integrating digital solutions into the general health system, but the volume of investment remains limited. The World Bank [23] points to the need for large-scale investments in data infrastructure and basic telecommunications, which is especially relevant for the East Kazakhstan region. Artificial intelligence is gradually being introduced into clinical practice. According to the World Bank [24], AI technologies can significantly improve the efficiency of diagnostics and remote monitoring in Central Asian countries. In the context of the multilingual environment

of Kazakhstan, multilingual models of clinical support [25] are of particular importance, ensuring the availability of medical information for the population.

Materials and methods. The object of the study is the process of digitalization of the healthcare system of the East Kazakhstan region. The following data were used as material: statistical data of the Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan (2016-2023) [26], official reports of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan [27], data on the use of the Damumed medical information system [28], as well as publications of international organizations reflecting the trends in the digitalization of healthcare. Geographically, the study covers the territory of the East Kazakhstan region, with an emphasis on Ust-Kamenogorsk, the administrative center of the region, where a significant part of medical institutions is concentrated and where digital technologies are actively implemented.

Due to the administrative division of East Kazakhstan Region in 2022, part of the statistical data used in this study includes aggregated values for the former unified region. This may cause minor deviations in interannual comparisons. To minimize errors, indicators were normalized and interpreted with consideration of boundary changes.

Research methods. The following were used in the work:

- systems approach to analyzing digitalization as a complex socio-economic phenomenon;

- comparative analysis to compare the indicators of the East Kazakhstan region with other regions of Kazakhstan and the national average;

- statistical analysis;

- construction of trend models to assess the prospects for the introduction of digital

technologies in medicine in East Kazakhstan region for 5-6 years ahead.

Justification for the choice of region. East Kazakhstan region was chosen as the object of the study due to its specifics:

1. emographic heterogeneity - a combination of large cities (Ust-Kamenogorsk, Semey) and remote rural areas.

2. High load on the healthcare system - due to the large territory of the region and the need to provide medical care in hard-to-reach regions.

3. Practical significance - it is in East Kazakhstan region that digital technologies are actively being introduced, which allows us to assess their effectiveness at the regional level.

Comparative analysis shows that East Kazakhstan Region lags behind leading regions such as Astana, Almaty and Karaganda in ICT expenditures and availability of cybersecurity specialists but exceeds several western and southern regions in computer literacy among medical personnel and the share of healthcare institutions with Internet access. These differences illustrate the heterogeneous pace of digital healthcare development across Kazakhstan.

Results and discussions. An analysis of the dynamics of healthcare digitalization in the East Kazakhstan region for the period 2020-2024 revealed several sustainable trends reflecting changes in infrastructure, staffing, and the level of use of information and communication technologies.

At the national level, the number of organizations with ICT tools has increased by 22.66% over five years. In the healthcare sector, the growth in the number of computers was 87.51%. In the East Kazakhstan region, this figure was more modest - only +11.5%, but it is here that a significant share of organizations with Internet access is recorded: 91.5% of computers are connected to the network.

The total number of ICT specialists in Kazakhstan at the end of 2024 was 52,250 people, of which 10.2% are employed in the healthcare sector. In East Kazakhstan region, 2,502 specialists were registered, with only 0.2% working directly in healthcare. Over five years, the number of ICT specialists in the regional healthcare system increased by 1.64%. A noticeable increase was noted in the number of healthcare workers with computer literacy: +63.38% for 2020-2024.

An almost twofold increase was observed in the number of employees using the Internet in their professional activities. Detailed data on specialists and their competencies are presented in Table 1.

Table 1 - ICT specialists and knowledge (including public administration organizations), their changes over 5 years

Indicator	Number of organizations with ICT specialists, units	Number of employees with computer literacy, people	Number of specialists in information security, people	Number of employees who completed computer literacy training during the reporting year, people	Need for ICT specialists, people
2024					
Republic of Kazakhstan	9 730	1 951 523	11 241	39 731	4 924
Healthcare activities, in the Republic of Kazakhstan	825	316841	571	9569	271
East Kazakhstan region	452	157 348	225	668	314
Healthcare	38	25 546	11	161	17
2020					
Republic of Kazakhstan	9 494	1 406 336	2 193	144 225	6 781
Healthcare activities, in the Republic of Kazakhstan	642	189 523	104	24 300	325
East Kazakhstan region	508	90 784	21	4 455	427
Healthcare	34	12 234	1	751	20
Changes					
Republic of Kazakhstan	2,49%	38,77%	412,59%	-72,45%	-27,39%
Healthcare activities, in the Republic of Kazakhstan	28,50%	67,18%	449,04%	-60,62%	-16,62%
East Kazakhstan region	-11,02%	73,32%	971,43%	-85,01%	-26,46%
Healthcare	11,57%	108,81%	1047,62%	-78,57%	-15,56%

Compiled by the authors based on the source [29]

As of the end of 2024, 104,518 organizations in Kazakhstan used the Internet to interact with government agencies. In the East Kazakhstan region, 293 such organizations were recorded in healthcare, which is 43.83% higher than in 2020. In the structure of Internet use in healthcare organizations in the region, the largest share is for receiving information and sending forms electronically, and the smallest is for participating in open tenders.

A comparative assessment of East Kazakhstan Region against other major regions of Kazakhstan demonstrates a heterogeneous landscape of digital healthcare development across the country. According to national statistics [29], the growth rate of employees with computer literacy in East Kazakhstan Region (+108.8% over 2020-2024) exceeds the national average (+67.2%). This indicates a comparatively faster adoption of basic digital competencies among healthcare personnel at the regional level.

However, East Kazakhstan Region lags behind technologically advanced regions such as Astana, Almaty and Karaganda in terms of ICT expenditures and the availability of cybersecurity specialists. For example, while national ICT spending in healthcare increased by 22% over the past five years, ICT-related expenditures in East Kazakhstan Region decreased by more than 50%, reflecting structural funding limitations. In contrast, regions with higher investment levels demonstrate broader implementation of integrated medical information systems and wider use of telemedicine services.

Table 2 - Comparative assessment of digital healthcare indicators across selected regions of Kazakhstan

Indicator	East Kazakhstan Region	Astana	Almaty	Karaganda Region	National Average
Growth in computer literacy among healthcare workers (2020-2024)	High	High	High	Medium–High	Medium
ICT expenditures in healthcare	Low / Declining	High	High	Medium	Moderate (Increasing)
Availability of ICT specialists	Low	High	High	Medium	Medium
Internet connectivity of healthcare facilities	High	Very High	Very High	High	Medium–High
Adoption of telemedicine and digital services	Medium	Very High	High	Medium	Medium
Level of interoperability between medical systems	Low–Medium	High	Medium–High	Medium	Medium
Cybersecurity capacity	Very Low	High	Medium–High	Medium	Low–Medium
Compiled by the authors					

In terms of infrastructure, Internet connectivity among healthcare organizations in East Kazakhstan Region (91.5% in 2024) is above the average for several western and southern regions of the country, yet remains below the levels observed in large metropolitan centers, where near-full digital coverage has already been achieved. This suggests that the region shows moderate–high readiness but still faces gaps in advanced ICT capacity.

Overall, the interregional comparison confirms

that although East Kazakhstan Region demonstrates comparatively strong progress in basic digital skills and infrastructure availability, it remains constrained by insufficient ICT investment and a shortage of specialized digital personnel. Addressing these gaps is essential for ensuring that the region's digital transformation aligns with national development trends (table 2).

The comparative analysis demonstrates that East Kazakhstan Region exhibits strong progress in basic digital competencies, particularly in the growth of computer literacy among healthcare workers, where it outperforms the national average. However, the region lags behind technologically advanced centers-Astana, Almaty, and, to a lesser extent, Karaganda Region-across several critical dimensions, including ICT expenditures, availability of specialized ICT personnel, and cybersecurity capacity.

Despite relatively high levels of Internet connectivity in healthcare institutions, East Kazakhstan Region remains limited in terms of advanced digital transformation, particularly system interoperability and adoption of telemedicine. These disparities highlight the need for targeted investments, improved training programs, and the development of a stronger ICT workforce to align the region's digital healthcare trajectory with national leaders.

To assess the future trajectory of digital healthcare development in the East Kazakhstan Region, a trend-based forecasting model was constructed using statistical data for 2020–2024. The model projects the dynamics of two key indicators:

- the number of ICT specialists employed in the regional healthcare system;

- the share of healthcare workers possessing digital competencies.

A linear trend model demonstrated the best explanatory power, which is supported by relatively high determination coefficients (R^2 = 0.71-0.84). According to the model, if the current growth rate (k = 1.087) is maintained, the number of ICT specialists in the regional healthcare system will increase by approximately 52–58% by 2030. Similarly, the share of digitally competent healthcare personnel is expected to reach 24–28% by 2030.

The resulting forecast of digitally competent healthcare workers is presented in Figure 1.

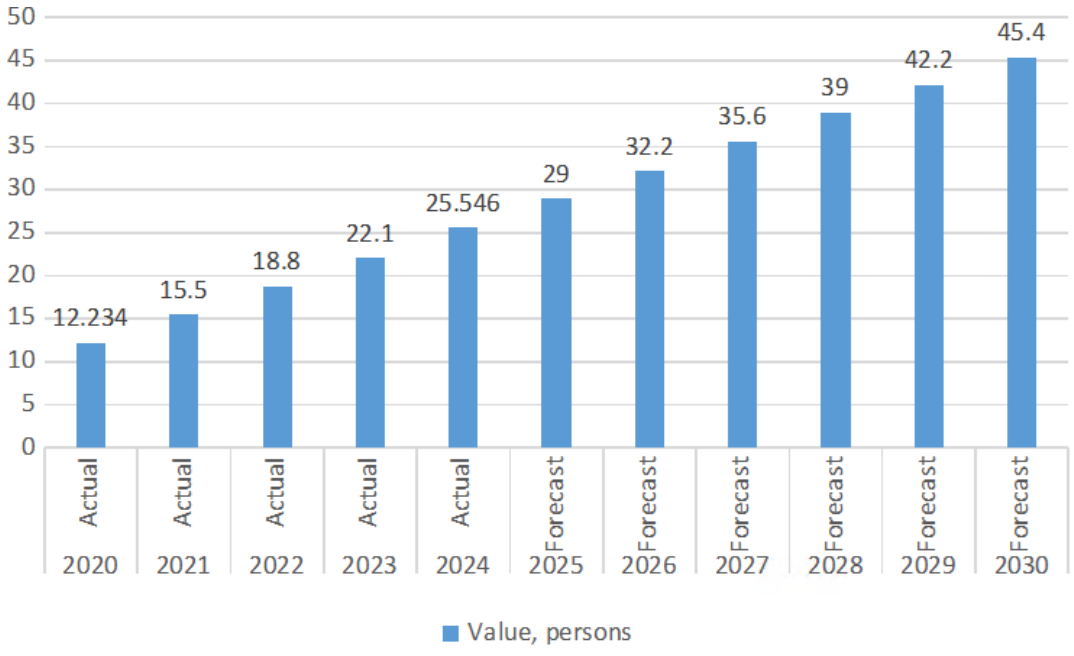


Fig.1 - Forecast of digitally competent healthcare workers in the East Kazakhstan Region (2020-2030)

Compiled by the authors based on the source [29]

During the study period, total ICT spending in Kazakhstan amounted to 443,121 million tenge. The East Kazakhstan region accounted for 16,742 million tenge, of which only 524 million tenge was for healthcare. Moreover, in the region' s healthcare, ICT costs decreased by 50.7%. The dynamics of changes in expenses in the context of 2020–2021 are shown in Figure 2.

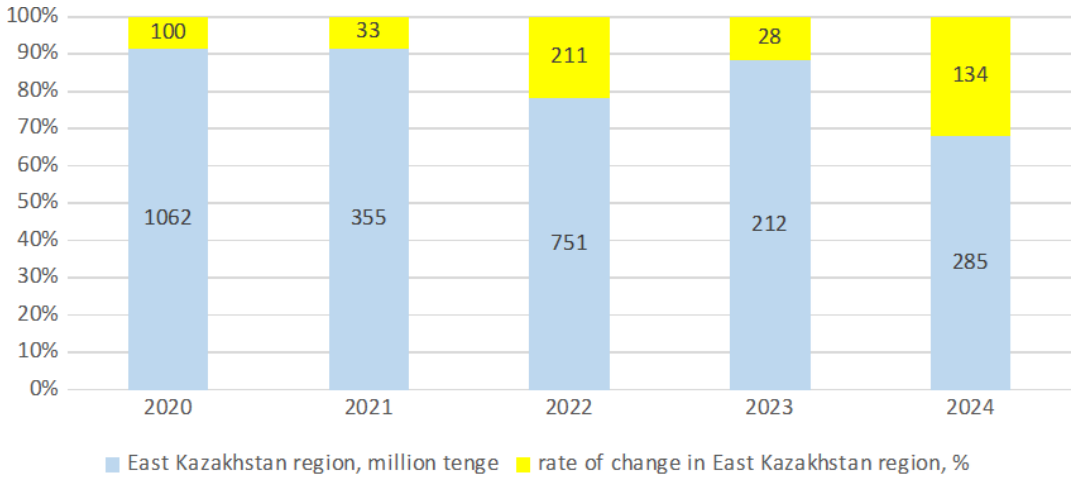


Fig.2 - Dynamics of changes in ICT costs in the healthcare sector, in the East Kazakhstan region
Compiled by the authors based on the source [29]

By 2024, healthcare organizations in the East Kazakhstan region with ICT specialists accounted for 4.6% of the total, equivalent to 8.5% of all organizations in the region. The number of employees with computer literacy reached 16.2%, more than doubling since 2020. Thus, the region has demonstrated positive dynamics in digital development, although several problem areas remain limited funding, weak development of human resources in the field of information security, and insufficient coverage of training programs.

Since 2020, the amount of ICT costs in healthcare has not exceeded 1,062 million tenge, in 2021 the rate of change decreased by 67%, in 2022 an increase of 2.1 times, in 2023 a decrease again by 72%, then in 2024 an increase of 34% (Figure 3).

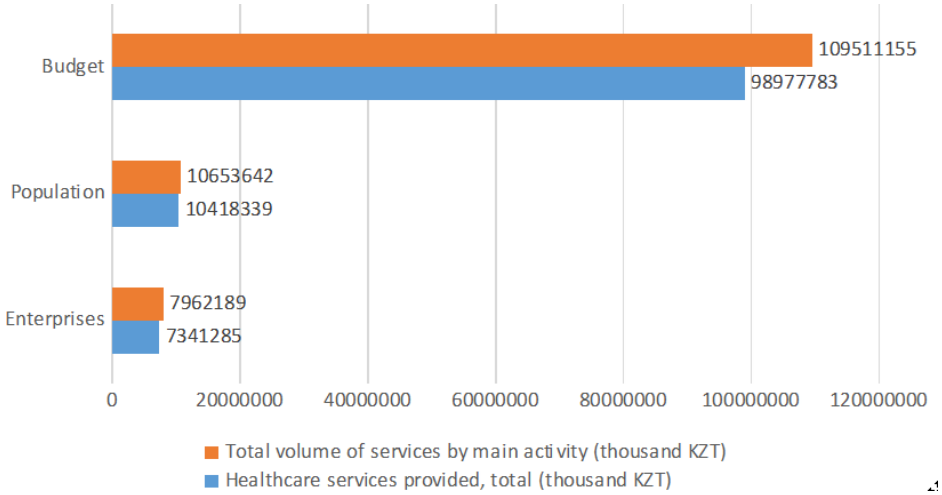


Fig.3 - Volume of services rendered in the field of healthcare and provision of social services by types of activity in East Kazakhstan region, thousand tenge
Compiled by the authors based on the source [29]

Analysis of the dynamics of the volume of medical services rendered in the East Kazakhstan region for the period 2020-2024 shows steady growth. Over the past five years, the total volume of services has almost doubled, which reflects both the growing need of the population for medical care and the active development of digitalization and optimization of organizational processes.

In 2024, the total volume of services rendered amounted to 128,588 million tenge, of which:

- 85.2% (109,621 million tenge) was financed from budget funds;

- 8.4% (10,780 million tenge) from the population's own funds;

- 6.4% (8,186 million tenge) at the expense of enterprises.

Of the total, 116,737 million tenge went to the healthcare sector. The structure of the inflow of funds is presented in Figure 3, which details the areas of financing.

The share of the East Kazakhstan region in the total volume of medical services in the Republic of Kazakhstan was 6.6%, which confirms the importance of the region in the formation of national indicators.

Structural analysis of costs shows that the largest part falls on hospital services - 35.28% (63,641 million tenge), of which 94.7% is provided by budget financing, 3.1% - by population funds and 2.1% by enterprises. A detailed structure of the distribution of costs by areas is presented in Figure 4.

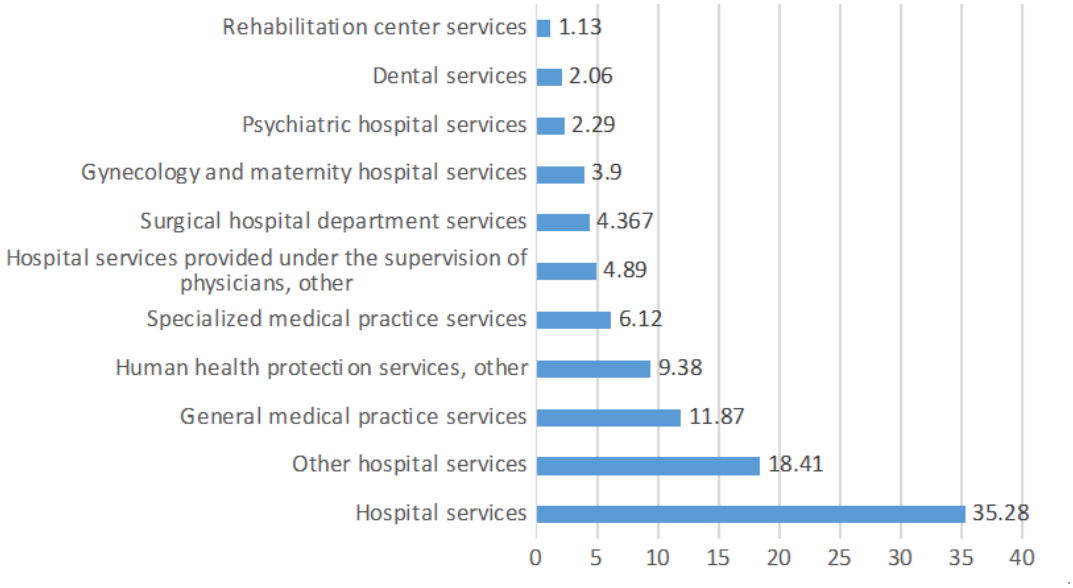


Fig.4 - Structure of rendered services in the field of healthcare in the East Kazakhstan region, for 2024
Compiled by the authors based on the source [29]

In second place are the services of other hospitals - 18.41%, 93.3% are provided at the expense of the budget. The smallest share falls on the services of rehabilitation centers - 1.13%, where 20.3% are at the expense of the budget (754 million tenge), 74.4% - at the expense of the population, and 5.3% - at the expense of enterprises.

As part of the analysis, the health indicators of the population in the East Kazakhstan region were considered (Table 3).

The observed improvements in several health indicators are not only a consequence of general modernization of the healthcare system but are also closely linked to the expansion of digital tools. The wider use of electronic medical records, online appointment systems and telemedicine consultations has contributed to reducing time-to-diagnosis, improving continuity of care

and increasing transparency in patient-provider interactions. For remote rural settlements, digital channels have partially mitigated geographical barriers by enabling access to specialized services that were previously concentrated in large urban centres.

Table 3 - Main indicators of the health of the population of the East Kazakhstan region

Name of indicators	2021	2022	2023	2024
Birth rate, % per 1000 people (15–49)	66,29	66,65	67,87	71,13
Death rate, % per 1000 people	10,29	10,36	12,06	12,80
Natural increase rate, % per 1000 people	56,00	56,29	55,81	58,33
Maternal mortality rate, % per 1000 live births	34,3	23,5	44,9	50,0
Infant mortality rate, % per 1000 live births	7,28	7,99	8,24	7,4
Tuberculosis incidence, per 100 thousand people	45,8	39,65	33,5	27,5
including tuberculosis mortality	2,1	2,0	2,0	1,9
Malignant diseases, per 100 thousand people	321,54	295,26	286,05	277,18
incl. Mortality from malignant diseases	137,42	128,31	128,32	125,63
Cystolic diseases, per 100 thousand people	4634,5	3671,05	3650,25	3340,39
incl. mortality from CDS	255,88	304,63	335,93	322,83
Accidents, injuries, poisonings, per 100 thousand people	242	282	302	314
incl. mortality from accidents, injuries and poisonings	20	21	14	24
Compiled by the authors based on the source [29]				

From a socio-economic perspective, digitalization has helped to optimize resource allocation, reduce transaction costs for both providers and patients and improve the efficiency of administrative processes. At the same time, uneven ICT funding and limited digital skills in certain groups of healthcare workers preserve inequalities in access and quality of services. Thus, digital transformation of healthcare in the East Kazakhstan Region simultaneously acts as a factor of increased accessibility and as a source of new risks related to the “digital divide”, which must be addressed in regional health policy.

Thus, in 2020-2024, there is a positive trend in chronic diseases, which is associated with both improved diagnostics and the wider use of digital technologies to monitor public health.

A negative trend was the increase in the number of accidents, injuries and poisoning: the growth was 29.8%. This fact requires a separate analysis in terms of preventive measures and the integration of digital security systems.

Taken together, these indicators confirm the impact of healthcare digitalization on increasing the resilience of the system, especially in the context of pandemics and crisis factors. However, risks associated with high mortality during epidemics and an increase in the number of accidents remain, requiring an integrated approach and modernization of preventive measures (figure 5).

Figure 4 shows the dynamics of changes in the rates of overall, maternal and infant mortality in comparison with the growth rate of the number of organizations with specialists in the field of ICT health care in the East Kazakhstan region. The data obtained confirms the presence of an inverse relationship between these indicators: with a decrease in the rate of involvement of specialists in digital technologies, mortality rates tend to increase,

while with an increase in the number of human resources, stabilization or a decrease in mortality is observed.

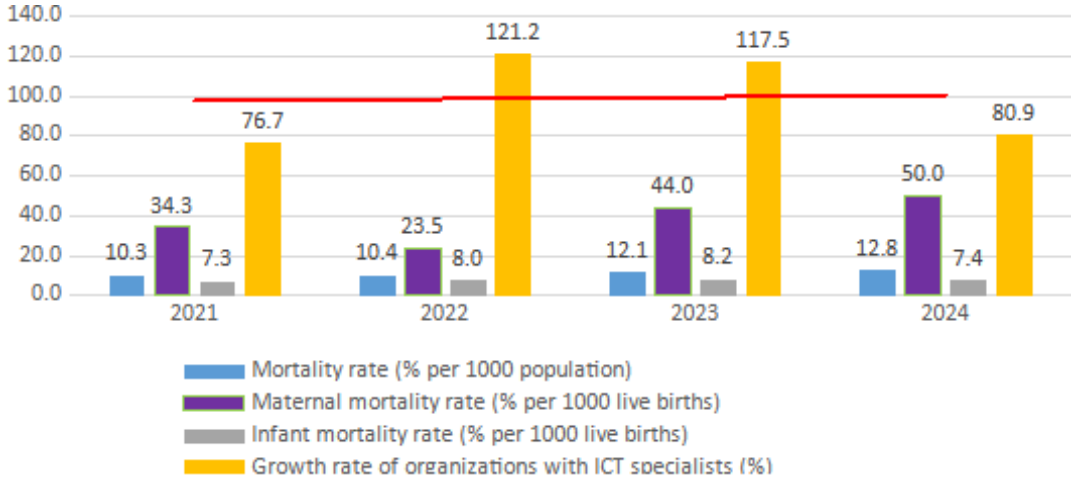


Fig.5 - Dynamics of changes in mortality rates relative to the number of specialists in the field of ICT health care in the East Kazakhstan region

Compiled by the authors based on the source [29]

In 2020-2021, an increase in mortality rates is recorded, which is explained by the consequences of the COVID-19 pandemic, when limited human and digital resources were unable to compensate for the burden on the healthcare system. In subsequent years, with an increase in the number of ICT specialists in medical institutions in the region, a gradual decrease in mortality rates, especially maternal, is noted.

The results of research confirm that digitalization in healthcare in East Kazakhstan Region has a direct impact on both access to and quality of medical services. For example, Assel Murat et al. [30] found that during the COVID-19 pandemic in Kazakhstan, the efficacy of primary healthcare was significantly associated with improvements in ICT infrastructure, professional development of staff, and resource availability (such as equipment and medicines). Similarly, Nurgaliyeva, Z. et al. [31] report that Kazakhstan has made significant strides in digital health implementation, with measurable growth in online and digital health processes.

At the regional level, findings that the number of ICT-specialists rise in East Kazakhstan corresponds with declines in mortality and improvements in medical facility outcomes—are consistent with results by Bagym Jobalayeva et al. [32] demonstrate that reform policies and investments have led to better availability of health facilities in rural areas, albeit with ongoing inequalities.

Interoperability remains a central challenge. In the same vein, WHO Europe [33] emphasizes that without integrated systems and standardized data exchange, digital health platforms cannot realize their full potential. Kazakhstan's progress is similarly constrained by low interoperability between medical information systems, as observed in the research.

Cybersecurity is another area needing urgent attention. Increasing attacks on healthcare providers globally. In parallel, Kazakhstan's healthcare sector reveals a critical gap: a very limited number of specialists in information security, which aligns with regional data.

Conclusion. The novelty of the research is that for the first time a comprehensive analysis of the impact of digitalization on the medical services market in the East Kazakhstan region was conducted, with an emphasis on the relationship between the level of digital readiness of medical organizations and key socio-demographic

indicators, such as mortality, birth rate and quality of medical services. Unlike previous studies, which focused mainly on the national or international level, this work focuses on regional specifics, which made it possible to identify unique patterns and clarify the role of digitalization in ensuring the sustainability of the healthcare system. From a theoretical point of view, the results of the study contribute to a deeper understanding of the processes of digital transformation of healthcare in the context of regional heterogeneity. The findings confirm the provisions of the WHO global strategy for digital health but clarify them in relation to the Kazakhstan context. It was demonstrated that the dynamics of mortality reduction and improvement of population health indicators directly depend on the level of development of digital competencies of specialists and the availability of ICT infrastructure in the region.

The practical significance of the study lies in the possibility of using its results by healthcare authorities and regional administrations when planning and developing digital infrastructure. The identified trends show that improving the computer literacy of healthcare workers and investing in information security led to a decrease in mortality and an increase in the quality of services. Practical recommendations can be applied to optimize government programs, develop telemedicine and increase the resilience of the healthcare system to crises, including pandemics. In addition, the results of the study can be useful for educational institutions training specialists in the field of healthcare and ICT, as well as for private companies involved in the creation and implementation of medical information systems. The study has several limitations that must be considered when interpreting the results. Firstly, the work is based mainly on statistical data for the period 2020-2024, which limits the possibility of long-term conclusions. Secondly, the analysis was carried out within one region - the East Kazakhstan region, so its results may not fully reflect the situation in other regions of Kazakhstan. Third, the research focuses on macro indicators, while micro perspectives - such as individual patient experiences or subjective assessment of the quality of health care - remain outside the scope of the work.

Prospects for further research are related to the need for an in-depth analysis of the impact of digitalization on the quality of medical services in various socio-demographic groups of the population. In the future, it is advisable to conduct interregional comparative studies to identify differences and common patterns in the digital transformation of healthcare in Kazakhstan. An important area remains the study of cybersecurity factors and the protection of personal data, since the growth of digitalization is inevitably accompanied by an increase in digital risks. It is also relevant to study the effectiveness of individual digital tools - telemedicine, mobile applications, remote monitoring systems - from the standpoint of their impact on clinical outcomes and patient satisfaction. Of additional interest is the development of forecasting models that take into account not only technical and human resources, but also the socio-economic characteristics of the region. All this will allow us to formulate more accurate strategies for the digital development of healthcare in Kazakhstan and beyond.

Литература

1. Об утверждении Государственной программы развития здравоохранения Республики Казахстанна 2020-2-25годы URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1900000982/history.-*Дата* обращения: 29.07.2025.

2. Global Strategy on Digital Health 2020–2025/ Geneva: World Health Organization. -2021. -72 p. ISBN 978-92-4-002092-4, 978-92-4-002093-1.

3. Slawomirski L., Wenzl M., et al. Health in the 21st Century: Putting Data to Work for Stronger Health Systems// OECD Publishing. -2019. -220 p. DOI 10.1787/e3b23f8e-en.

4. DataReportal. Digital 2023: Kazakhstan. DataReportal. -2023. URL: https://datareportal.com/reports/digital-2023-kazakhstan. -Date of access: 29.07.2025.

5. Bake G., et al. Freedom House. Freedom on the Net 2023*:* The Repressive Power of Artificial Intelligence/Freedom House. -2023. URL: https://freedomhouse.org/sites/default/files/2023-10/Freedom-on-the-net-2023-DigitalBooklet.pdf. -Date of access: 29.07.2025.

6. UNICEF. UNICEF Annual State of Digital Transformation. UNICEF Report. - 2024. URL: https://www.unicef.org/reports/unicef-annual-state-digital-transformation-dx. -Date of access: 29.07.2025.

7. Internet Society. Global Internet Resilience Report 2024/ The Marcony Society. -2024. URL: https://marconisociety.org/wp-content/uploads/2025/02/IR-Technology-Institute-Report-2024-compressed.pdf. -Date of access: 19.08.2025.

8. World Health Organization. Recommendations on digital interventions for health system strengthening. WHO. - 2023. ISBN 978-92-4-155050-5.

9. World Health Organization. Global Digital Health Monitor Releases State of Digital Health 2024 Brief. Geneva: WHO. -2024. URL: https://digitalhealthmonitor.org/news/global-digital-health-monitor-releases-state-of-digital-health-2024-brief. -Date of access: 25.08.2025.

10. Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan. Code of the Republic of Kazakhstan “On the Health of the People and the Healthcare System” dated July 7, 2020 No.360-VI ZRK. -2020. URL: https://adilet.zan.kz/eng/docs/K2000000360. -Date of access: 25.08.2025.

11. Tripathy A., et al. Global Telemedicine Regulations Report 2023. Intelehealth. -2023. URL: https://intelehealth.org/wp-content/uploads/2023/06/TELEMEDICINE-REPORT-12-June-2023.pdf. -Date of access: 20.08.2025.

12. Joint Programme Document: Integrated Approaches for Digital Health Transformation in Kazakhstan. UNDP/UN Joint SDG Fund. -2025. URL: https://mptf.undp.org/sites/default/files/documents/2025-04/extracted_from_kazakhstan_prodoc_141119.pdf. -Date of access: 20.08.2025.

13. OECD. Health Data Governance: Principles and Practices/ OECD Publishing. -2015. URL: https://www.oecd.org/en/publications/health-data-governance_9789264244566-en.html. -Date of access: 20.08.2025.

14. Bhaskar S., et al. Telemedicine Across the Globe-Position Paper from the COVID-19 Pandemic Health System Resilience PROGRAM (REPROGRAM) International Consortium (Part 1)// Fronties in Public Health. -2020. -Vol.8: 556720. DOI 10.3389/fpubh.2020.556720.

15. Ernst & Young. Pulse of the MedTech industry: Outlook. URL: https://www.ey.com/en_us/life-sciences/pulse-of-medtech-industry-outlook. -Date of access: 29.08.2025.

16. Qumar AB, Faizullina K, Seiduanova l, Yelibay A, Zhamankulova N, Mukashev N. Digital Transformation in Healthcare: Global Best Practices and Kazakhstan’ s Prospects. Central Asian Journal of Medical Hypotheses and Ethics. -2025. -№6(2). -P.125-132. DOI 10.47316/cajmhe.2025.6.2.06.

17. Shaki D., Aimbetova G., Baysugurova V., Kanushina M., Chegebayeva A., Arailym M., Merkibekov E., Karibayeva I. Level of Patient Satisfaction with Quality of Primary Healthcare in Almaty During COVID-19 Pandemic // International Journal of Environmental Research and Public Health. -2025. -Vol.22 (5): 804. DOI 10.3390/ijerph22050804.

18. Utegenova A., Kassymova G., Fakhradiyev I. Experience of Implementing Digital Telemedicine Technologies to Improve Access to Cervical Cancer Screening in Rural Areas of the Republic of Kazakhstan // Georgian Medical News. -2025. -Vol.360. -P.187–194.

19. World Health Organization (WHO Europe). Digital Health in Kazakhstan: Progress and Challenges.

WHO Regional Office for Europe. -2023. -45 p. URL: https://www.euro.who.int/en/health-topics/Health-systems/digital-health. -Date of access: 27.08.2025.

20. UNICEF Kazakhstan. Assessment of Digital Public Goods in Kazakhstan/RFP/KAZA/2021/001. -2021. URL: https://www.unicef.org/kazakhstan/media/7706/file/Presentation%203.pdf. -Date of access: 27.08.2025.

21. Kropachev P., Imanov M., Borisevich J., Dhomane I. Information Technologies and The Future of Educationin The Republic of Kazakhstan // Scientific Journal Of Astana IT University. -2020. -Vol.1. -P.30-38. DOI 10.37943/AITU.2020.1.63639.

22. Organization for Security and Co-operation in Europe (OSCE). Public-Private Partnerships in Cyber Resilience: Kazakhstan Case Study. Vienna: OSCE. -2023. -52 p. URL: https://www.osce.org/files/f/documents/1/2/536789.pdf. -Date of access: 29.08.2025.

23.Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan. State Program for the Development of Healthcare of the Republic of Kazakhstan for 2020-2025. -2020. -145 p. URL: https://cis-legislation.com/document.fwx?rgn=121946#A5OQ0IMM30. -Date of access: 29.08.2025.

24. World Bank. Digital Progress and Trends Report 2025: Strengthening AI Foundations. - Washington: The World Bank, 2025. URL: https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/f2509a0f-7153-4f32-b180-bc11e90c4940/content. -Date of access: 29.08.2025.

25. Digital Journey: Kazakhstan’s Healthcare. - Official website of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan. https://www.gov.kz/memleket/entities/dsm/press/article/details/4848.

26. Бюро национальной статистики Агентства стратегического планирования и реформ Республики Казахстан. Статистика здравоохранения Республики Казахстан, 2016-2023 гг.. -2023. -120 р. URL: https://stat.gov.kz/healthcare-statistics-2016-2023. - Дата обращения: 28.08.2025.

27. Astana International Financial Centre. Annual Report 2020. - Астана: Astana International Financial Centre «AIFC». -2021. URL: https://aifc.kz/wp-content/uploads/2024/06/aifc_ar2020_eng.pdf. -Date of access: 28.08.2025

28. Дамумед. Официальный сайт Единой медицинской информационной системы Казахстан 2025. URL: https://damumed.kz. -Дата обращения: 29.08.2025.

29. Комитет по статистике Министерства народного хозяйства Республики Казахстан. Официальный портал статистических данных. -2025. URL: https://stat.gov.kz. -Дата обращения: 29.08.2025.

30. Murat A., et al. Effectiveness of primary health care in the Republic of Kazakhstan during the COVID-19 pandemic and factors affecting it// Disaster and Emergency. -2024. -Vol.9(4). -P.208-225. DOI 10.5603/demj.101057.

31. Nurgaliyeva Z., Berkinbayev S., Zhunussova A. Paving the way to establishing the digital-friendly health system in Kazakhstan// Health Policy and Technology. -2024. -Vol.192: 105610. DOI 10.1016/j.ijmedinf.2024.105610.

32. Jobalayeva B., et al. Past, current status, and future trends of the rural healthcare network in the Republic of Kazakhstan//Scientific Reports. -2025. -Vol.15: 26913. DOI 10.1038/s41598-025-11432-w.

33. World Health Organization, Regional Office for Europe. Addressing the growing needs of Kazakhstan’s digital health workforce. WHO Europe News. -2023. URL: https://www.who.int. - Date of access: 29.08.2025.

References

1. Ob utverzhdenii Gosudarstvennoj programmy razvitija zdravoohranenija Respubliki Kazahstanna

2020-2-25gody URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1900000982/history .- Data obrashhenija: 29.07.2025. [in Russian]

2. Global Strategy on Digital Health 2020–2025/ Geneva: World Health Organization. -2021. -72 p. ISBN 978-92-4-002092-4, 978-92-4-002093-1.

3. Slawomirski L., Wenzl M., et al. Health in the 21st Century: Putting Data to Work for Stronger Health Systems// OECD Publishing. -2019. -220 p. DOI 10.1787/e3b23f8e-en.

4. DataReportal. Digital 2023: Kazakhstan. DataReportal. -2023. URL: https://datareportal.com/reports/digital-2023-kazakhstan. -Date of access: 29.07.2025.

5. Bake G., et al. Freedom House. Freedom on the Net 2023*:* The Repressive Power of Artificial Intelligence/Freedom House. -2023. URL: https://freedomhouse.org/sites/default/files/2023-10/Freedom-on-the-net-2023-DigitalBooklet.pdf. -Date of access: 29.07.2025.

6. UNICEF. UNICEF Annual State of Digital Transformation. UNICEF Report. - 2024. URL: https://www.unicef.org/reports/unicef-annual-state-digital-transformation-dx. -Date of access: 29.07.2025.

7. Internet Society. Global Internet Resilience Report 2024/ The Marcony Society. -2024. URL: https://marconisociety.org/wp-content/uploads/2025/02/IR-Technology-Institute-Report-2024-compressed.pdf. -Date of access: 19.08.2025.

8. World Health Organization. Recommendations on digital interventions for health system strengthening. WHO. - 2023. ISBN 978-92-4-155050-5.

9. World Health Organization. Global Digital Health Monitor Releases State of Digital Health 2024 Brief. Geneva: WHO. -2024. URL: https://digitalhealthmonitor.org/news/global-digital-health-monitor-releases-state-of-digital-health-2024-brief. -Date of access :25.08.2025.

10. Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan. Code of the Republic of Kazakhstan “On the Health of the People and the Healthcare System” dated July 7, 2020 No.360-VI ZRK. -2020. URL: https://adilet.zan.kz/eng/docs/K2000000360. -Date of access: 25.08.2025.

11. Tripathy A., et al. Global Telemedicine Regulations Report 2023. Intelehealth. -2023. URL: https://intelehealth.org/wp-content/uploads/2023/06/TELEMEDICINE-REPORT-12-June-2023.pdf. -Date of access: 20.08.2025.

12. Joint Programme Document: Integrated Approaches for Digital Health Transformation in Kazakhstan. UNDP / UN Joint SDG Fund. -2025. URL: https://mptf.undp.org/sites/default/files/documents/2025-04/extracted_from_kazakhstan_prodoc_141119.pdf. -Date of access: 20.08.2025.

13. OECD. Health Data Governance: Principles and Practices/ OECD Publishing. -2015. URL: https://www.oecd.org/en/publications/health-data-governance_9789264244566-en.html. -Date of access: 20.08.2025.

14. Bhaskar S., et al. Telemedicine Across the Globe-Position Paper from the COVID-19 Pandemic Health System Resilience PROGRAM (REPROGRAM) International Consortium (Part 1)// Fronties in Public Health. -2020. -Vol.8: 556720. DOI 10.3389/fpubh.2020.556720.

15. Ernst & Young. Pulse of the MedTech industry: Outlook. URL: https://www.ey.com/en_us/life-sciences/pulse-of-medtech-industry-outlook. -Date of access: 29.08.2025.

16. Qumar AB, Faizullina K, Seiduanova l, Yelibay A, Zhamankulova N, Mukashev N. Digital Transformation in Healthcare: Global Best Practices and Kazakhstan’ s Prospects. Central Asian Journal of Medical Hypotheses and Ethics. -2025. -№6(2). -P.125-132. DOI 10.47316/cajmhe.2025.6.2.06.

17. Shaki D., Aimbetova G., Baysugurova V., Kanushina M., Chegebayeva A., Arailym M., Merkibekov E., Karibayeva I. Level of Patient Satisfaction with Quality of Primary Healthcare in Almaty During

COVID-19 Pandemic // International Journal of Environmental Research and Public Health. -2025. -Vol.22 (5): 804. DOI 10.3390/ijerph22050804.

18. Utegenova A., Kassymova G., Fakhradiyev I. Experience of Implementing Digital Telemedicine Technologies to Improve Access to Cervical Cancer Screening in Rural Areas of the Republic of Kazakhstan // Georgian Medical News. -2025. -Vol.360. -P.187–194.

19. World Health Organization (WHO Europe). Digital Health in Kazakhstan: Progress and Challenges. WHO Regional Office for Europe. -2023. -45 p. URL: https://www.euro.who.int/en/health-topics/Health-systems/digital-health. -Date of access: 27.08.2025.

20. UNICEF Kazakhstan. Assessment of Digital Public Goods in Kazakhstan/RFP/KAZA/2021/001. -2021. URL: https://www.unicef.org/kazakhstan/media/7706/file/Presentation%203.pdf. -Date of access: 27.08.2025.

21. Kropachev P., Imanov M., Borisevich J., Dhomane I. Information Technologies and The Future of Educationin The Republic of Kazakhstan // Scientific Journal Of Astana IT University. -2020. -Vol.1. -P.30-38. DOI 10.37943/AITU.2020.1.63639.

22. Organization for Security and Co-operation in Europe (OSCE). Public-Private Partnerships in Cyber Resilience: Kazakhstan Case Study. Vienna: OSCE. -2023. -52 p. URL: https://www.osce.org/files/f/documents/1/2/536789.pdf. -Date of access: 29.08.2025.

23.Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan. State Program for the Development of Healthcare of the Republic of Kazakhstan for 2020–2025. -2020. -145 p. URL: https://cis-legislation.com/document.fwx?rgn=121946#A5OQ0IMM30. -Date of access: 29.08.2025.

24. World Bank. Digital Progress and Trends Report 2025: Strengthening AI Foundations. - Washington: The World Bank, 2025. URL: https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/f2509a0f-7153-4f32-b180-bc11e90c4940/content. -Date of access: 29.08.2025.

25. Digital Journey: Kazakhstan’s Healthcare. - Official website of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan. https://www.gov.kz/memleket/entities/dsm/press/article/details/4848

26. Bjuro nacional’ noj statistiki Agentstva strategicheskogo planirovanija i reform Respubliki Kazahstan. Statistika zdravoohranenija Respubliki Kazahstan, 2016–2023 gg.. -2023. -120 p. URL: https://stat.gov.kz/healthcare-statistics-2016-2023. - Data obrashhenija: 28.08.2025.[in Russian]

27. Astana International Financial Centre. Annual Report 2020. - Астана: Astana International Financial Centre «AIFC». -2021. URL: https://aifc.kz/wp-content/uploads/2024/06/aifc_ar2020_eng.pdf. -Date of access:28.08.2025.

28. Damumed. Oficial’ nyj sajt Edinoj medicinskoj informacionnoj sistemy Kazahstan 2025. URL: https://damumed.kz. - Data obrashhenija: 29.08.2025. [in Russian]

29. Komitet po statistike Ministerstva narodnogo hozjajstva Respubliki Kazahstan. Oficial’ nyj portal statisticheskih dannyh. -2025. URL: https://stat.gov.kz. - Data obrashhenija: 29.08.2025. [in Russian]

30. Murat A., et al. Effectiveness of primary health care in the Republic of Kazakhstan during the COVID-19 pandemic and factors affecting it// Disaster and Emergency. -2024. -Vol.9(4). -P.208-225. DOI 10.5603/demj.101057.

31. Nurgaliyeva Z., Berkinbayev S., Zhunussova A. Paving the way to establishing the digital-friendly health system in Kazakhstan// Health Policy and Technology. -2024. -Vol.192: 105610. DOI 10.1016/j.ijmedinf.2024.105610.

32. Jobalayeva B., et al. Past, current status, and future trends of the rural healthcare network in the Republic of Kazakhstan//Scientific Reports. -2025. -Vol.15: 26913. DOI 10.1038/s41598-025-11432-w.

33. World Health Organization, Regional Office for Europe. Addressing the growing needs of Kazakhstan’s digital health workforce. WHO Europe News. -2023. URL: https://www.who.int. - Date of access 29.08.2025.

Сведения об авторах

Малдынова А. - PhD, доцент, Университет Международного Бизнеса им. Кенжегали Сагадиева, Алматы, Казахстан, e-mail: maldynova.a@uib.kz;

Айдаргалиева Н. - PhD, доцент, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилёва, Астана, Казахстан, e-mail: aidargaliyeva@enu.kz;

Мусабалина Д. - PhD, постдокторант, Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан, e-mail: d.mussabalina@gmail.com;

Абдрахманова Ж. - старший преподаватель, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: abdrakhmanova.zhannur@inbox.ru;

Демесинов Т. - кандидат экономических наук, ассоциированный профессор, НАО «Кокшетауский университет им. Ш.Уалиханова», Кокшетау, Казахстан. e-mail: demesinov73@list.ru.

Information about authors

Maldynova A.- PhD, Associate Professor, Kenzhegali Sagadiyev University of International Business, Almaty, Kazakhstan, e-mail: maldynova.a@uib.kz;

Aidargaliyeva N. - PhD, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: aidargaliyeva@enu.kz;

Mussabalina D.- PhD, Postdoctoral Researcher, Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: d.mussabalina@gmail.com;

Abdrakhmanova Z. - senior lecturer, D.Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: abdrakhmanova.zhannur@inbox.ru;

Demessinov T. - Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Kokshetau, Kazakhstan., e-mail: demesinov73@list.ru.

МРНТИ 06.52.13 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1159**

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ БИЗНЕСТІҢ ӘЛЕУМЕТТІК ЖАУАПКЕРШІЛІГІ: ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ ЖӘНЕ ДАМУ БАҒЫТТАРЫ

С.Ж. Ибраимова, С.Б. Касымова, Г.Ж. Каримбаева, Д.Б. Шарипова
Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан
Корреспондент-автор: Sanim_81@list.ru

Бұл мақалада Қазақстан Республикасындағы корпоративтік әлеуметтік жауапкершіліктің институционалдық негіздерінің қалыптасуы мен эволюциясы қарастырылады. Зерттеу нысаны - әртүрлі көлемдегі кәсіпкерлік құрылымдар-шағын, орта және ірі кәсіпорындар. Талдау пәні әлеуметтік жауапкершілікті жүзеге асырудың ұйымдастырушылық-экономикалық аспектілері мен практикалық құралдары болып табылады. Зерттеудің мақсаты - корпоративтік әлеуметтік жауапкершілікті қалыптастырудың заманауи тенденцияларын зерделеу, бар жүйелік проблемаларды анықтау, сондай-ақ қазіргі экономика жағдайында тұрақты әлеуметтік жауапкершілік институтын дамытудың стратегиялық бағыттарын анықтау. Әдістемелік негіз аналитикалық, статистикалық, есептеу-аналитикалық, диалектикалық және іздеу әдістерінен тұрды. Зерттеу нәтижелері бизнестің әлеуметтік мәселелерді шешуге және қоғамның дамуына қатысуы қалыптасу сатысында екенін көрсетеді. Әлеуметтік жауапкершіліктің ең белсенді тетіктерін ірі компаниялар пайдаланады, ал мемлекет оларды жүзеге асыруда маңызды рөл атқарады. Сонымен қатар, әлеуметтік жауапкершілік саласындағы халықаралық стандарттарға сәйкестік деңгейі жеткіліксіз болып қалуда. Менеджменттің халықаралық стандарттарын енгізуге қарамастан, олардағы әлеуметтік компонент көбінесе кішігірім позицияларда болады. Әлеуметтік жауапкершіліктің қолданыстағы тетіктері әлеуметтік саланы және адам әлеуетін толыққанды дамыту үшін қажетті жағдайларды қамтамасыз етпейді

Түйін сөздер: әлеуметтік жауапкершілік, бизнес ұйымдары, әлеуметтік инвестициялар, нарық институттары, халықаралық стандарттар, әлеуметтік сектор.

СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ БИЗНЕСА В КАЗАХСТАНЕ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

С.Ж. Ибраимова, С.Б. Касымова, Г.Ж. Каримбаева, Д.Б. Шарипова
Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: Sanim_81@list.ru

В данной статье рассматривается формирование и эволюция институциональных основ корпоративной социальной ответственности в Республике Казахстан. Объектом исследования являются предпринимательские структуры различных размеров - малые, средние и крупные предприятия. Предметом анализа являются организационно-экономические аспекты и практические инструменты реализации социальной ответственности. Цель исследования - изучить современные тенденции формирования корпоративной социальной ответственности, выявить существующие системные проблемы, а также определить стратегические направления развития устойчивого института социальной ответственности в условиях современной экономики. Методологическую основу составили аналитический, статистический, расчетно-аналитический, диалектический и поисковый методы. Результаты исследования показывают, что участие бизнеса в решении социальных проблем и развитии общества находится на стадии становления. Наиболее активно механизмы социальной ответственности используют крупные компании, при этом государство продолжает играть значительную роль в их реализации. В то же время уровень соответствия международным стандартам в области социальной ответственности остается недостаточным. Несмотря на внедрение международных стандартов менеджмента, социальная составляющая в них зачастую оказывается на второстепенных позициях. Существующие механизмы социальной ответственности не обеспечивают необходимых условий для полноценного развития социальной сферы и человеческого потенциала

Ключевые слова: социальная ответственность, бизнес-организации, социальные инвестиции, институты рынка, международные стандарты, социальный сектор.

SOCIAL RESPONSIBILITY OF BUSINESS IN KAZAKHSTAN: CURRENT STATE AND DIRECTIONS OF DEVELOPMENT

C.Zh. Ibraimova, C.B. Kassymova✉, G.Zh. Karimbayeva, D.B. Sharipova

K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: Sanim_81@list.ru

This article examines the formation and evolution of the institutional foundations of corporate social responsibility in the Republic of Kazakhstan. The object of the study is business structures of various sizes - small, medium and large enterprises. The subject of the analysis is organizational and economic aspects and practical tools for implementing social responsibility. The purpose of the study is to study current trends in the formation of corporate social responsibility, identify existing systemic problems, and identify strategic directions for the development of a sustainable institution of social responsibility in a modern economy. The methodological basis consists of analytical, statistical, computational and analytical, dialectical and search methods. The results of the study show that business participation in solving social problems and developing society is in its infancy. Large companies use social responsibility mechanisms most actively, while the state continues to play a significant role in their implementation. Large companies use social responsibility mechanisms most actively, while the state continues to play a significant role in their implementation. At the same time, the level of compliance with international standards in the field of social responsibility remains insufficient. Despite the introduction of international management standards, the social component in them often finds itself in secondary positions. The existing mechanisms of social responsibility do not provide the necessary conditions for the full development of the social sphere and human potential

Keywords: social responsibility, business organizations, social investments, market institutions, international standards, social sector.

Кіріспе. Нарықтық экономиканың жұмыс істеуі мен дамуы жағдайындағы бизнес - ұйымдардың әлеуметтік жауапкершілігі өз кезегінде экономиканың нақты секторының іргетасы болып табылатын әлеуметтік саланы дамытудың маңызды құралы болып табылады. Әлеуметтік салада адами капиталдың қалыптасуы мен дамуы қалыптасады, сондай-ақ білім беру, денсаулық сақтау сияқты экономиканың маңызды салаларын дамыту үшін жағдайлар жасалады. Индустриялық-инновациялық трендтерді ескере отырып, қазіргі нарықтық жағдайларда экономиканың әлеуметтік секторын дамыту мен нығайту тек мемлекеттің қатысуы шеңберінде ғана емес, сонымен қатар бизнес-кәсіпкерліктің қатысуымен де жүргізілуі тиіс. Бизнес-ұйымдардың әлеуметтік жауапкершілігінің тиімді тетіктерін құру мемлекеттің экономикалық жүйесінің дамудың постиндустриалды кезеңіне қарқынды ауысуы үшін кешенді жағдайлар жасайды.

Қазақстан Республикасында әлеуметтік саланы дамыту үшін мемлекет тарапынан бизнес-ұйымдардың әлеуметтік жауапкершілігі қағидаттарында бірқатар ұйымдастыру шаралары қабылданды: елдің Біріккен Ұлттар Ұйымына мүшелігі, еңбек мәселелерін, жалақыны, жалпымемлекеттік табиғи ресурстарды пайдалануды реттейтін заңнамалық-нормативтік құжаттардың кең спектрін қабылдау.

Сонымен қатар, әлеуметтік жауапкершіліктің тұрақты нарықтық институтын қалыптастыру саласында айтарлықтай проблемалар бар, атап айтқанда ірі өнеркәсіптік кәсіпорындар тарапынан әлеуметтік салаға инвестициялардың цикділігі мен тұрақсыздығы, әлеуметтік жауапкершіліктің халықаралық стандарттарын игерудің төмен тенденциялары, шағын және орта бизнестің әлеуметтік жауапкершілікке қатысу деңгей-

інің төмендігі.

Бизнес-ұйымдардың әлеуметтік жауапкершілігін дамыту жолдарын іздеу мақсатында экономиканың нақты секторында жүргізілетін әлеуметтік саясаттың барлық аспектілерін терең талдау талап етіледі. Келешекте бизнес-ұйымдардың әлеуметтік жауапкершілігінің орнықты нарықтық институтын қалыптастыру экономиканың нақты секторы мен әлеуметтік саланың интеграцияланған өзара іс-қимылын, Қазақстан экономикасының постиндустриалды жұмыс істеу кезеңіне көшуінің берік іргетасын құруға мүмкіндік береді.

Осы зерттеудің мақсаты - бизнес-ұйымдардың әлеуметтік жауапкершілігін қалыптастырудың заманауи үрдістерін талдау, әлеуметтік жауапкершіліктің тұрақты нарықтық институтын құрудың жүйелі проблемалары мен стратегиялық басымдықтарын анықтау.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы - бизнестің әлеуметтік жауапкершілік тенденцияларының сандық және сапалық жақтарын қамтитын талдаудың кешенді әдіснамасын қолдану. Сандық талдау бизнес ұйымдарының динамикасы, әлеуметтік жауапкершілікке салынған пайда мен инвестициялардың динамикасы, халықаралық әлеуметтік жауапкершілік стандарттарын тәжірибеге енгізудің индикативті көрсеткіштері сияқты деректерді зерттеуге негізделген. Сапалы зерттеулер заңдар мен нормативтік - құқықтық актілерге, әлеуметтік жауапкершілікке инвестициялар басымдықтарының құрылымына, оны іс жүзінде жүзеге асырудың ұйымдастырушылық-экономикалық механизміне бағытталған.

Материалдар мен әдістер. Бизнестің әлеуметтік жауапкершілігі тұжырымдамаларының тарихи дамуын талдау 1970 жылдардың басында негізгі Тұжырымдаманың тек теориялық құндылығы бар екендігі белгілі болды, өйткені оның ережелері іс жүзінде толық қолданыла алмайды. Тиісінше, әлеуметтік жауапкершілік қағидаттарын жеке субъектілер деңгейінде практикалық іске асыру мәселелері әлеуметтік жауапкершіліктің философиялық сипатындағы мәселелермен алмастырылды, ал қоғамды әлеуметтік ісшаралар мен бағдарламаларды өткізу нәтижелері туралы ақпараттандыру мәселелері корпоративтік әлеуметтік сезімталдық тұжырымдамасы аясында ерекше өзектілікке ие болды [1]. Корпоративтік әлеуметтік жауапкершілік - бұл, ең алдымен, ұйымның қоршаған орта мен қоғам үшін жауапкершілігі, ол бизнестің бәсекеге қабілеттілігімен байланысты және жай ғана байланысты емес, компаниялардың бәсекеге қабілеттілігіне айтарлықтай әсер етеді [2].

Қазіргі ғылыми салада әлеуметтік жауапкершілік жеке адамдар мен ұйымдардың шешім қабылдау процесінде қалыптасатын этикалық қағидат (мәртебе) ретінде қарастырылады. Бұл этикалық қағидат шешім қабылдау кезінде осы шешімдерді қабылдаған экономика субъектілерінің мүдделері ғана емес, сонымен қатар кең әлеуметтік топтардың, жалпы қоғамның мүдделері де ескерілетінін болжайды [3,4].

Әлеуметтік жауапкершілік тұрақты даму шеңберіндегі кәсіпорындардың экономикалық қызметінің нәтижелері мен мазмұнына мүдделі қоғамның сұраныстарына жауап ретінде дамиды. Сондай-ақ, қазіргі қоғамда әлеуметтік процестер меншік иелері үшін де, қарапайым тұтынушылар үшін де инвестициялық шешімдер қабылдауда маңызды рөл атқаратынын ескерген жөн; экономикалық қызметтен туындаған қоршаған ортаның ластануының артуына алаңдаушылық артып келеді; бұқаралық ақпарат құралдары мен ақпараттық-коммуникациялық технологиялардың көмегімен кәсіпкерлік қызметтің ашықтығы үшін қажетті жағдайлар жасалады [5].

Бизнес-ұйымдардың әлеуметтік жауапкершілігі - кәсіпорындар, фирмалар, компаниялар, сондай-ақ басқа да бизнес-құрылымдар өздерінің өндірістік-шаруашылық қызметі процесінде қоғамдық саланың тараптарына әсер етудің әртүрлі нысандары үшін жауапкершілікті өзіне жүктей отырып, қоғамның мүдделерін ескеретін тұжырымдама [6,7].

Корпоративтік әлеуметтік жауапкершілік тұжырымдамасы корпорациялардың қалыптасуы мен даму тенденцияларына параллель ұзақ кезеңнен өтті [8].

Корпоративтік әлеуметтік жауапкершілік теориясын қалыптастыру процесінде қарама-қайшылықтар пайда болды, олар келесі атауларға ие болды: «корпоративті эгоизм» (либералды тәсіл), «ақылға қонымды эгоизм», «корпоративті альтруизм».

Орталық Азия елдерінің ішінде Қазақстан Республикасы әлеуметтік жауапкершілік саласындағы көшбасшы болып табылады. Елімізде әлеуметтік жауапкершілікті дамытудың алғашқы алғышарттары 1990 жылдардың ортасында өздерінің әлеуметтік жауапкершілігін көрсеткен шетелдік компаниялардың нарыққа шығуымен пайда болды. Алайда, бұған қарамастан, осыдан бес жыл бұрын корпоративтік әлеуметтік тұжырымдамасы Қазақстанда салыстырмалы түрде жаңа болып саналды. Бүгінгі таңда отандық компаниялардың әлеуметтік жауапкершіліктің негізгі принциптері туралы хабардарлығы тез өсуде [9,10].

Бизнестің әлеуметтік жауапкершілігі концепциясын интерпретациялауда, алғашқы және анағұрлым дәстүрлі болып саналатын Милтон Фридманның теориясы. Оның пікірінше, бизнестің жауапкершілігі негізінде акционерлер өздерінің пайдасын өсіруі тиіс [11].

Шетелдік ғалымдардың бизнес-ұйымдардың әлеуметтік жауапкершілік теориясына ғылыми көзқарастарын зерттеу әлеуметтік жауапкершілік эволюциялық-тарихи сипатта болатын және уақыт өте келе үнемі дамып отыратын күрделі-жүйеленген құбылыс екенін көрсетеді. Уақыт өте келе әлеуметтік жауапкершілікті экономист ғалымдар бизнестің логикалық процестеріне қайшы келетін құбылыс ретінде емес, табыс пен пайда алуға оң әсер ету құралы, кәсіпкерлік қызметтің қажетті және міндетті компоненті ретінде қарастыра бастады.

Сондай-ақ, бизнес-ұйымдардың әлеуметтік жауапкершілігін заманауи зерттеулер тұжырымдамалық аппаратқа және бұл құбылысты бизнес пен кәсіпкерліктің даму тенденцияларына, шағын, орта және ірі кәсіпорындардың, фирмалар мен компаниялардың қызметіне әсер ететін фактор ретінде қарастыруға көп көңіл бөледі деген қорытындыға келу маңызды. Бұл зерттеудің басқалардан басты айырмашылығы - бизнестің әлеуметтік жауапкершілігі экономиканың нақты секторына әсер ететін фактор ретінде ғана емес, сонымен қатар мемлекет, экономиканың өнеркәсіптік секторы, шағын және орта бизнес қатысатын институционалдық құбылыс ретінде қарастырылады. Бұл экономика субъектілері әлеуметтік жауапкершілікті іс жүзінде іске асырудың нарықтық нормалары мен ережелерін қалыптастырады, олар тек еркін нарықтық форматта ғана емес, сонымен қатар басымдықтары, мақсаттары, міндеттері нақты құрылған басқарылатын күйде болуы керек.

Әлеуметтік жауапкершілікке ғылыми көзқарастарды зерттеу қазақстандық практика үшін бизнестің әлеуметтік жауапкершілігінің маңыздылығын анықтауға мүмкіндік береді. Біздің ойымызша, Қазақстан Республикасының экономикасында бизнес-ұйымдардың әлеуметтік жауапкершілігі - бұл институционалдық құбылыс, ұлттық аумақтық шекаралар шегінде (өңірлер, тұтастай алғанда ел) және олар үшін ішкі және сыртқы адам ресурстарына шоғырланған әлеуметтік саясатты әзірлеуге бағдарланған ұйымдардың топ-менеджментінің этикалық мінез-құлқын қалыптастырудың серпінді процесі дәстүрлі қоғамдық қажеттіліктерге де, қоғамдық құндылықтарды өзгертуге де бағытталған шектеулер.

Ғылыми зерттеу аясында бизнестің әлеуметтік жауапкершілік тенденцияларының сандық және сапалық жақтарын қамтитын талдаудың кешенді әдістемесі қолданылды. Сандық талдау бизнес ұйымдарының динамикасы, әлеуметтік жауапкершілікке салынған пайда мен инвестициялардың динамикасы, халықаралық әлеуметтік жауапкершілік стандарттарын тәжірибеге енгізудің индикативті көрсеткіштері сияқты деректерді зерттеуге негізделген.

Зерттеудің негізгі әдістері: аналитикалық және синтетикалық, статистикалық, есептеу-аналитикалық зерттеу әдістері. Зерттеудің аналитикалық әдісі шеңберінде бизнес - ұйымдардың әлеуметтік жауапкершілігінің экономикалық және ұйымдастырушылық негіздерінің барлық құрамдас элементтері, атап айтқанда:

бизнес-ұйымдардың динамикасы және олардың құрылымы; бизнес-ұйымдардың кірістерінің динамикасы; бизнестің әлеуметтік жауапкершілігін реттейтін заңдар мен нормативтік-құқықтық құжаттар жеке талданды; бизнес-ұйымдар тарапынан әлеуметтік жауапкершілікке инвестициялардың бағыттары және олардың құрылымы; өңірлік экономикалық жүйелер практикасында қолданылатын өнеркәсіптік жер қойнауын пайдаланушы кәсіпорындардың әлеуметтік жауапкершілігінің ұйымдастырушылық-экономикалық тетігі; менеджменттің халықаралық стандарттарының жұмыс істеуі шеңберінде әлеуметтік жауапкершілікті қалыптастыру критерийлері; әлеуметтік салық және әлеуметтік сақтандыру жөніндегі кәсіпорындардың аударымдарының серпіні; атаулы және нақты орташа жалақының серпіні. Қолданылатын әдіснама шеңберінде 2020 жылдан 2024 жылға дейінгі стратегиялық кезеңдегі деректер пайдаланылды. Практикалық деректердің шектеулілігін ескере отырып, индикативті көрсеткіштердің белгілі бір кешені таңдалған стратегиялық кезеңнен тыс зерттелді.

Аналитикалық әдіс Қазақстан Республикасындағы әлеуметтік жауапкершілік институтының жұмыс істеуінің ағымдағы жай-күйі туралы кешенді пайымдауды қалыптастыруға мүмкіндік берді. Қолданылған әдіснаманың негізінде бизнестің әлеуметтік жауапкершілік институтының қалыптасуы мен дамуының қазіргі кезеңіне ғылыми негіздеме берілді.

Нәтижелер және талқылау. Әлеуметтік жауапкершілік және оның Қазақстан Республикасындағы тұжырымдамалық негіздері мемлекеттік деңгейде де, шағын және орта бизнестің, ірі кәсіпорындардың, фирмалардың, компаниялардың қызметінде де қаланды. Қазақстан Республикасында «Мемлекет пен бизнестің әлеуметтік жауапкершілігін қалыптастыру орнықты дамудың базалық шарттарының бірі болып табылатынына» басты назар аударды. Осы қағида негізінде Қазақстан Республикасы 2050 жылға қарай әлемнің дамыған 30 елінің қатарына кіруі тиіс [12].

Қазақстан Республикасының Біріккен Ұлттар Ұйымының (БҰҰ) халықаралық ұйымына мүшелігі елдің бизнес-қоғамдастығын өз қызметінде әлеуметтік жауапкершіліктің үш іргелі қағидатын басшылыққа алуға бағыттайды және шақырады: адам құқықтарын сақтау саласындағы негізгі қағидаттарды іске асыру; еңбек қатынастары нормаларын орындау; қоршаған ортаны қорғау.

Қазақстан Республикасында кәсіпкерлік бизнес-ортада шағын, орта және ірі бизнес субъектілерінің қызметі ұйымдық негіздердің бірі болып табылады.

Шағын және орта бизнес саласында 1-кестеге сәйкес Қазақстан Республикасында кәсіпкерлік субъектілерінің оң серпіні байқалады, олардың арасында жеке кәсіпкерлер, шағын кәсіпорындар басым. Қазақстан нарығында салыстырмалы түрде аз мөлшерде (1 және 2-кестелер) мөлшері бойынша орташа кәсіпорындар, сондай-ақ ұйымдық-құқықтық мәртебесі акционерлік қоғамдар болып табылатын кәсіпкерлік бизнес-құрылымдар ұсынылған.

1-кесте. Шағын және орта бизнес бөлінісіндегі Қазақстанның бизнес-ұйымдарының динамикасы

Көрсеткіштің атауы	Мәні, мың бірлік				
	2020	2021	2022	2023	2024
Шағын және орта бизнес-кәсіпкерлік субъектілерінің жалпы саны, оның ішінде:	1610,4	1694,7	2026,5	2178,9	2262,4
- шағын бизнес кәсіпорындары	398,8	416,1	438,4	456,6	464,8
- орта бизнес кәсіпорындары	2,6	2,9	3,0	3,0	3,2
- жеке кәсіпкерлер	983,5	1044,3	1336,5	1442,8	1523,0

- шаруа қожалықтары	225,4	231,4	248,6	276,4	271,3
Ескерту - авторлар Bureau of National Statistics дереккөзі бойынша құрастырған					

2-кесте.2024 жылға арналған меншіктің ұйымдық-құқықтық нысандары бөлінісінде Қазақстан Республикасы бизнес-ұйымдарының құрылымы

Ұйымдық-құқықтық нысанның атауы	Тіркелген шағын және орта бизнес субъектілерінің саны, мың бірлік	Құрылымы, %
Жеке кәсіпкерлік	1523,0	67,4
Серіктестіктер (жауапкершілігі шектеулі серіктестіктер)	467,9	20,68
Акционерлік қоғамдар	0,23	0,02
Шаруа (фермер) қожалықтары	271,3	11,9
Барлығы	2262,4	100,0
Ескерту - авторлар Bureau of National Statistics дереккөзі бойынша құрастырған		

Шағын және орта бизнеспен қатар әлеуметтік жауапкершілік динамикасы тоқырау сипатына ие және 1-суретте көрсетілген ірі кәсіпорындардың атрибуты болып табылады.

Бизнестің әлеуметтік жауапкершілігінің инвестициялық-экономикалық негізі шаруашылық жүргізуші субъектілердің кірісі болып табылады. Жүргізілген зерттеулер 3 және 4-кестелерге сәйкес шағын және орта, ірі бизнес-кәсіпкерлік бөлінісіндегі кірістер мен пайда нарықтық қатынастардың даму жылдарында іс жүзінде тепе-теңдік деңгейіне жеткенін көрсетеді.

Бизнес-кәсіпкерлік субъектілерінің пайдасы Қазақстанда қалыптасқан заңнама жүйесін ескере отырып, олардың қоғам алдындағы әлеуметтік жауапкершілігін орындауы үшін басты инвестициялық негіз болып табылады. Мәселен, 3-кестеде Қазақстанның шағын бизнес-ұйымдарының табысы мен пайдасының динамикасын толығырақ қарастыруға болады.

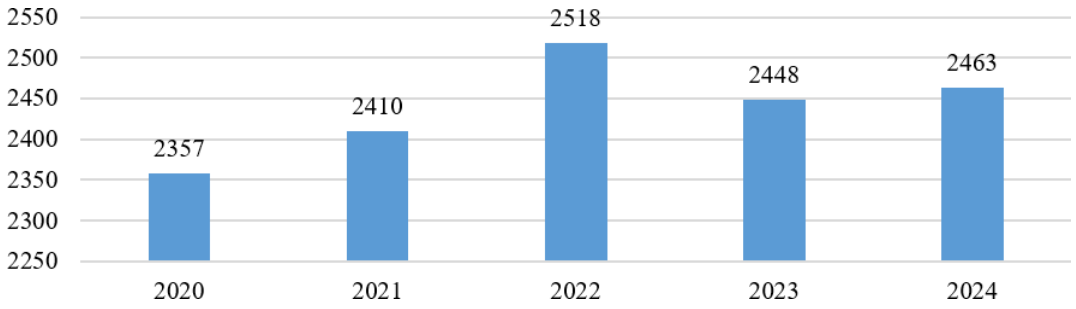
Бұдан әрі 4-кестеде Қазақстанда жұмыс істейтін ірі бизнес-ұйымдардың табыс, пайда және рентабельділік динамикасын толығырақ қарастыруға болады.

3 - кесте. Қазақстанның шағын бизнес-ұйымдарының табысы мен пайдасының серпіні

Көрсеткіштің атауы	Мәні				
	2020	2021	2022	2023	2024
Шағын бизнес-кәсіпкерлік субъектілерінің табысы, млн теңге	23 164 042	28 025 374	36 539 684	45 577 129	54 197 184
Қызметкерлердің орташа жылдық тізімдік саны, адам	1 409 882	1 421 017	1 645 995	1 756 265	1 745 668
Қызметкерлердің жалақы қоры, млн теңге	2 448 701	2 898 943	3 900 773	4 875 973	6 503 987
Шағын бизнес-кәсіпкерлік субъектілерінің пайдасы, млн теңге	4 742 647	8 649 502	11 275 290	14 560 620	17 604 983
Ескерту - авторлар Bureau of National Statistics дереккөзі бойынша құрастырған					

4 - кесте. Қазақстанда жұмыс істейтін ірі және орта бизнес-ұйымдардың табыс, пайда және рентабельділік динамикасы

Көрсеткіштің атауы	Мәні				
	2020	2021	2022	2023	2024
Өнімді сатудан және қызмет көрсетуден түскен табыс, млн теңге	46 675 618	60 323 895	78 132 450	81 956 087	91 236 611
Рентабельділік, %	11,6	28,0	23,6	18,5	15,8
Ірі және орта кәсіпорындардың пайдасы, млн. теңге	6 679 821	14 796 652	17 995 441	14 764 670	14 653 528
Ескерту - авторлар Bureau of National Statistics дереккөзі бойынша құрастырған					



1 - сурет. Қазақстанда жұмыс істейтін ірі бизнес-ұйымдардың динамикасы, бірлік
Ескерту - авторлар Bureau of National Statistics дереккөзі бойынша құрастырған

Қазақстан Республикасындағы бизнестің әлеуметтік жауапкершілігін Конституция, Еңбек кодексі, Экологиялық Кодекс, «Жер қойнауы және жер қойнауын пайдалану туралы» Заң, «Кәсіподақтар туралы» Заң сияқты заңдар мен нормативтік-құқықтық құжаттар реттейді. Қазақстандағы бизнес-ұйымдар тарапынан әлеуметтік жауапкершілікке инвестициялар 2-суретке сәйкес ұсынылған бағыттар бойынша іске асырылады.

Бизнес-ұйымдардың пайдасын әлеуметтік жауапкершілікке инвестициялау бағыттары

Жаңа жұмыс орындарын құру және еңбек нарығын дамыту

Салық міндеттемелерін кешенді және жанжақты орындау

Әлеуметтік жауапкершілік қорларын қаржыландыру

Негізгі өндірістік жабдықтарды, кәсіпорындарды басқару жүйелерін техникалық жаңғырту есебінен адам ресурстарының еңбек жағдайлары мен қауіпсіздігін жақсарту

Тұтынушылардың проблемаларын шешуге бағдарлануын ескере отырып, тауарлардың, көрсетілетін қызметтердің сапасы мен инновациясын жетілдіру

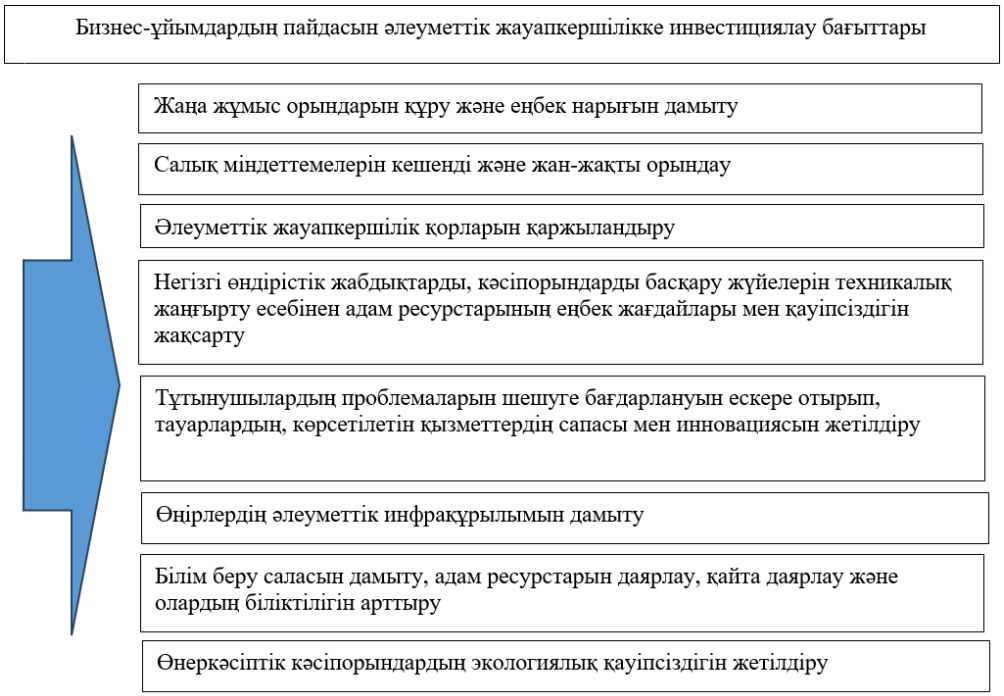
Өңірлердің әлеуметтік инфрақұрылымын дамыту

Білім беру саласын дамыту, адам ресурстарын даярлау, қайта даярлау және олардың біліктілігін арттыру

Өнеркәсіптік кәсіпорындардың экологиялық қауіпсіздігін жетілдіру

Шағын және орта бизнес субъектілерінің әлеуметтік жауапкершілігі өндірістік-шаруашылық қызметті жүргізудің құқықтық негіздерін сақтау қағидаттарында іске асырылады, мысалы: еңбек заңнамасын сақтай отырып, жаңа жұмыс

орындарын құру; салық міндеттемелерін кешенді және жан-жақты орындау; ең төменгі мөлшерден кем емес мөлшерде жалақы төлеу; ақшалай қаражатты әлеуметтік сақтандыру қорына, міндетті медициналық сақтандыру қорына аудару. Шағын және орта бизнес-кәсіпкерлік субъектілерінің әлеуметтік жауапкершілік мүмкіндіктері олардың бір кәсіпорынға шаққандағы табысы мен пайдасымен шектеледі.



2 - сурет. Қазақстанның бизнес-ұйымдары тарапынан әлеуметтік жауапкершілікке инвестициялар бағыттары

Ескерту - авторлар құрастырған

Әлеуметтік жауапкершілікті іске асыру үшін жетекші ірі өңірлік өнеркәсіптік кәсіпорындар облыс әкімдіктерімен әлеуметтік жобаларға инвестициялар бөлу туралы меморандумдар жасайды. Өнеркәсіптік кәсіпорындардың әлеуметтік жауапкершілік саясатына қатысты меморандумдар динамикалық сипатқа ие, әр күнтізбелік жылға қаралады және жасалады. Бұл ретте іс жүзінде 3 - суретте көрсетілген ұйымдастырушылық-экономикалық тетік қолданылады.

Экономиканың жеке секторы

Экономиканың мемлекеттік секторы

Жетекші өңірлік өнеркәсіптік кәсіпорындар-жер қойнауын пайдаланушылар

Облыстардың әкімдіктері, өңірлік басқармалар

Өнеркәсіптік кәсіпорындардың пайдасын қалыптастыру

Әлеуметтік саланы дамыту басымдықтарын әзірлеу

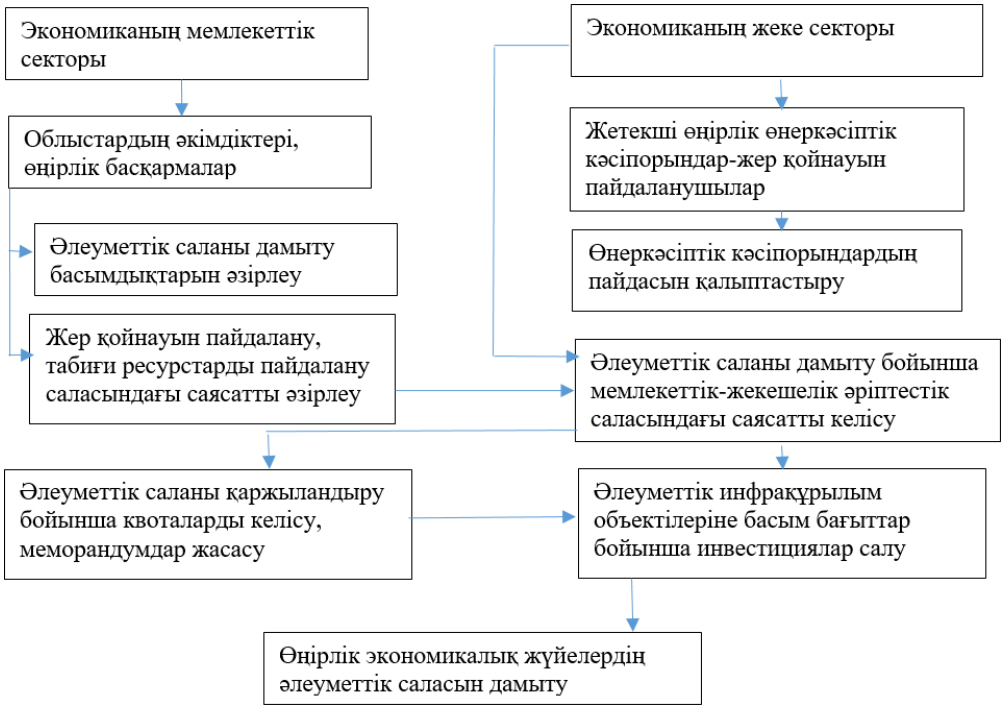
Жер қойнауын пайдалану, табиғи ресурстарды пайдалану саласындағы саясатты әзірлеу

Әлеуметтік саланы дамыту бойынша мемлекеттік-жекешелік әріптестік саласындағы саясатты келісу

Әлеуметтік саланы қаржыландыру бойынша квоталарды келісу, меморандумдар жасасу

Әлеуметтік инфрақұрылым объектілеріне басым бағыттар бойынша инвестициялар салу

Өңірлік экономикалық жүйелердің әлеуметтік саласын дамыту



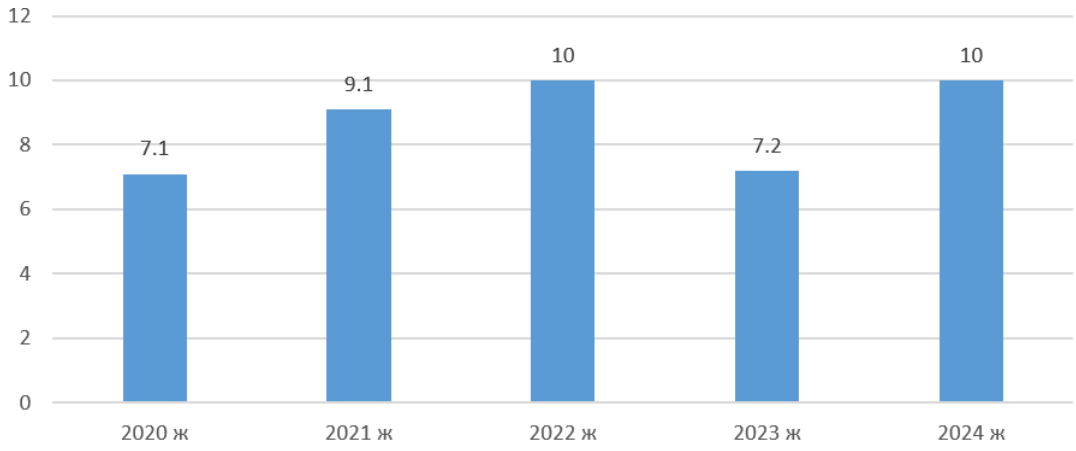
3 - сурет. Өңірлік экономикалық жүйелер тәжірибесінде қолданылатын жер қойнауын пайдаланушы өнеркәсіп кәсіпорындарының әлеуметтік жауапкершілігінің ұйымдастырушылық-экономикалық тетігі

Ескерту - авторлар құрастырған

2022-2024 жылдардағы әлеуметтік жобаларды іске асыруға ірі өнеркәсіптік кәсіпорындар тарапынан инвестициялардың серпіні 4-суретте келтірілген.

Ел өңірлерінің әлеуметтік саласын дамытуға инвестициялардың серпіні уақытша кезеңдер бөлінісінде өзгермелі сипатқа ие. Әлеуметтік саланы қолдау үшін ең жоғары инвестициялық шығындар 2024 жылға, ал ең төменгі инвестициялық шығындар 2023 жылға келді.

Қазақстан Республикасының жекелеген өңірлеріндегі ірі өнеркәсіптік кәсіпорындардың әлеуметтік жауапкершілігінің негізгі бағыттары 5-кестеде келтірілген.

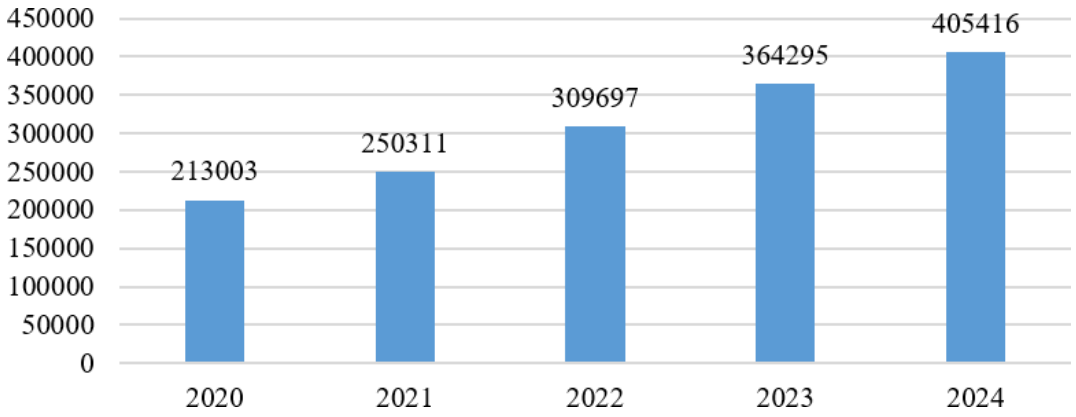


4 - сурет.2020 - 2024 жылдарға арналған әлеуметтік жобаларды іске асыруға ірі өнеркәсіптік кәсіпорындар тарапынан инвестициялар серпіні, млрд. теңге

Ескерту - авторлар ERG Corporation Social projects дереккөзі бойынша құрастырған

5 - кесте. Қазақстанның жекелеген өңірлеріндегі ірі өнеркәсіптік кәсіпорындардың 2024 жылға арналған әлеуметтік жауапкершілігінің негізгі бағыттары

Аймақ	Әлеуметтік жауапкершілік бағыты
Ақтөбе облысы	- Ақтөбе және Хромтау қалаларын абаттандыру; - балабақшаларды салу және жөндеу; - аумақтық кәсіптік-техникалық оқу орындарын қолдау; - қоғамдық мекемелерге көмек.
Қарағанды облысы	- жолдарды жөндеу; - балалар ойын алаңдарын салу; - аулаларды абаттандыру; - жол және коммуналдық техниканы сатып алу; - мектептерді жөндеу және жабдықтармен жарақтандыру; - мәдениет және спорт салаларын қолдау; - халықтың әлеуметтік осал топтарына көмек көрсету.
Қостанай облысы	- Қостанай, Рудный қалаларын абаттандыру; - мәдениет және спорт инфрақұрылымы объектілерін салу; - инженерлік-коммуникациялық желілерді жөндеу; - медициналық мекемелерді қолдау.
Павлодар облысы	- Павлодар, Екібастұз, Ақсу қалаларын абаттандыру; - тұрғын үй құрылысы; - білім беру ұйымдары үшін жатақханалар салу; - мәдениет және спорт саласының инфрақұрылымдық объектілерін салу; - балалар алаңдарын салу; - білім беру ұйымдарын қолдау; - зейнеткерлерге көмек.
Ескерту - авторлар ERG Corporation Social projects дереккөзі бойынша құрастырған	



5 - сурет. Қазақстан Республикасындағы нақты орташа жалақының динамикасы, теңге
Ескерту - авторлар Bureau of National Statistics дереккөзі бойынша құрастырған

Қазақстан Республикасында кәсіпорындардың, фирмалардың және басқа да бизнес-кәсіпкерлік субъектілерінің әлеуметтік жауапкершілігі қолданыстағы заңнама шеңберінде қамтамасыз етіледі және кепілдендіріледі. Бұл бағыттағы маңызды құрал «Міндетті әлеумет-

тік сақтандыру туралы» Заң болып табылады. Заң кәсіпорындарда, бизнес-құрылымдарда еңбекақы төлеу жүйесіне параллель әлеуметтік пакетті мәжбүрлеуді реттейді. Қолданыстағы заңнама шеңберінде кәсіпорындар мемлекеттік әлеуметтік сақтандыру қорына ай сайынғы аударымдарды және кәсіпорынның әрбір қызметкеріне әлеуметтік салық төлеуді жүзеге асырады.

Қазақстан Республикасында соңғы жылдары суретке сәйкес орташа жалақының номиналды өсу тенденциялары болды.

Қорытынды. Қазақстан Республикасының экономикалық жүйесіндегі бизнес-ұйымдардың әлеуметтік жауапкершілігін құру және дамыту үрдістерін зерттеу шағын, орта, ірі кәсіпорындардың, фирмалардың, компаниялардың қоғамды, әлеуметтік саланы дамытуға қатысуы қалыптасу сатысында тұрғанын көрсетеді. Әлеуметтік жауапкершіліктің құралдары мен тетіктерін қолдану ірі бизнес-кәсіпкерлік субъектілеріне тән, ал белгілі бір маңызды рөл мемлекетке тиесілі. Әлеуметтік жауапкершілік халықаралық стандарттарға толық сәйкес келмейді. Әлеуметтік жауапкершілікке бағытталған халықаралық менеджмент стандарттарын бизнес-қауымдастық аз пайдаланады.

Қазақстан Республикасында бизнестің әлеуметтік жауапкершілігінің қалыптасқан тетіктері мен құралдары әлеуметтік саланың серпінді дамуы, елдің адами әлеуетінің сапалы дамуы үшін кешенді жағдайлар жасамайды, бұл өз кезегінде экономикалық өсудің қарқындылығына ықпал етпейді.

Кешенде бизнес-ұйымдардың әлеуметтік жауапкершілігінің анықталған тенденциялары экономиканың, өнеркәсіптің, шағын және орта бизнестің нақты секторының қарқынды дамуының факторы емес, салдары болып табылады деген қорытынды жасауға болады. Бизнестің әлеуметтік жауапкершілік институты қалыптасады, бірақ экономиканы дамытудың локомотиві емес. Нәтижесінде Қазақстан Республикасының қолданыстағы экономикалық жүйесі таяудағы кемінде екі стратегиялық кезеңде индустриялық даму деңгейінде қалатын болады және оның постиндустриалды кезеңге өтуінің берік іргетасы ұзақ мерзімді кезеңде ғана қалыптаса алады.

Жоғарыда аталған проблемалар қолданыстағы заңнаманы және нормативтік-құқықтық актілерді қоса алғанда, әлеуметтік жауапкершілік саласындағы тиімсіз мемлекеттік саясатпен тікелей негізделеді. Ел экономикасында бизнес-кәсіпкерлік субъектілеріне қатысты салық, әлеуметтік, еңбек және экологиялық нормативтерді орындау бойынша салыстырмалы түрде төмен талаптар қолданылады.

Жүргізілетін зерттеудің перспективалары микро, мезо және макро деңгейлердегі әлеуметтік саланың дамуына тікелей әсерін ескере отырып, ірі корпорациялардың да, шағын және орта бизнес кәсіпорындарының да әлеуметтік жауапкершілігінің ұйымдастырушылық-экономикалық тетіктерін жетілдіруге бағытталуы тиіс. Болашақ зерттеулерде экономикадағы әлеуметтік саланың үлес салмағын анықтау, бизнес-ұйымдардың әлеуметтік жауапкершілік тетіктерін іске асыру арқылы экономиканың дамудың постиндустриалды кезеңіне өту өлшемдерін айқындау жоспарлануда.

Әдебиеттер

1. Мауленкулова Г.Е., Бигельдиева З.А., Исахметова А.Н. Тұрақты даму шеңберіндегі бизнестің әлеуметтік жауапкершілігін зерттеу // Статистика, есеп және аудит. - 2025. -№ 1(96). Б.- 244-254. DOI 10.51579/1563-2415.2025.-1.18.

2. Liagutov K.J., Zelezinskii A.L., Arhipova O.V. The impact of corporate social responsibility on business competitiveness // Economic Vector. -2023. -№ 4(35). -P.5-8. DOI 10.36807/2411-7269-2023-4-35-5-8.

3. Туреханова А.О., Устенова О.Ж. Маркетинговая оценка влияния корпоративной социальной ответсвенности на развитие малого бизнеса// Central Asian Economic Review. -2022. -Т.(4). - С.70-81.

DOI 10.52821/2789-4401-2022-4-70-81.

4. Сайдулаева З. С. Место и роль субъектов малого и среднего предпринимательства в развитии социальной ответственности бизнеса // Central Asian Scientific Journal. - 2023. -Т.1(16). - С.68-78.

5. Bulkhairova Z., Bermukhamedova G., Dzhanegizova A., Primbetova S. Corporate Social Responsibility in Kazakhstan: Current State and Ways of Development // Eurasian Journal of Economic and Business Studies. -2023. - 67(1). -P.27–38. DOI 10.47703/ejebs.v1i67.245.

6. Carrera L. Corporate social responsibility. A strategy for social and territorial sustainability // International Journal of Corporate Social Responsibility. - 2022. - Vol.7(1). - P.1-11. DOI 10.1186/ s40991-022-00074-0.

7. Пустынникова Е.В., Тимохина А.В.Корпоративная социальная ответственность бизнеса // Экономика и бизнес: теория и практика. - 2023. - №11-3 (105).-С.12-16. DOI 10.24412/2411-0450-2023-11-3-12-16.

8. Newman C., Rand J., Tarp F., Trifkovic N. Corporate social responsibility in a competitive business environment // The Journal of Development Studies. -2020. - Vol. 56(8). -P.1455-1472. DOI 10.1080/00220388.2019.1694144.

9. Yerniyazova A., Smailova Zh. Corporate social responsibility of business in the republic of Kazakhstan // Reports of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. - 2019. -Vol.4 (326). - P.76–82. DOI 10.32014/2019.2518-1483.119.

10. Baltabayeva A.K., Altaibayeva Z.K., Shelomentseva V.P., Mutallyapova S.E., Alimkhanova R.K. Promotion of the Principles of Corporate Social Responsibility and their Implementation by Large Businesses in Kazakhstan // Australasian Accounting, Business and Finance Journal. -2024. - №18(1). -P.172-186. DOI 10.14453/aabfj.v18i1.11.

11. Тауекелова Т.Б., Абдикерова Г.О. Қазақстандық бизнестің әлеуметтік жауапкершілігін қалыптастыру ерекшеліктері // ҚазҰУ Хабаршысы. Психология және әлеуметтану сериясы. -2021. -№78(3). –Б.157–166. DOI 10.26577/JPsS.2021.v78.i3.14.

12. Социальная ответственность бизнеса. Бизнес бастама. -2018. URL: https://startinfo.kz/buisness/sozialno-v/. -Қаралған күні: 30.05.2025.

References

1. Maulenkulova G.E., Bigel’ dieva Z.A., Isakhmetova A.N. Turakty damu shenberindegi biznestin aleumettik zhauapkershiligin zertteu // Statistika, esep zhane audit. - 2025. -№ 1(96). B.- 244-254. DOI 10.51579/1563-2415.2025.-1.18. [in Kazakh]

2. Liagutov K.J., Zelezinskii A.L., Arhipova O.V. The impact of corporate social responsibility on business competitiveness // Economic Vector. -2023. -№4(35). -P.5-8. DOI 10.36807/2411-7269-2023-4-35-5-8.

3. Turehanova A.O., Ustenova O.Zh. Marketingovaja ocenka vlijanija korporativnoj social’ noj otvetsvennosti na razvitie malogo biznesa// Central Asian Economic Review. -2022. -T.(4). -S.70-81. DOI 10.52821/2789-4401-2022-4-70-81. [in Russian]

4. Saidulaeva Z. S. Mesto i rol’ sub”ektov malogo i srednego predprinimatel’ stva v razvitii sotsial’ noi otvetstvennosti biznesa // Central Asian Scientific Journal. -2023. -T.1(16). -S.68-78. [in Russian]

5. Bulkhairova Z., Bermukhamedova G., Dzhanegizova A., Primbetova S. Corporate Social Responsibility in Kazakhstan: Current State and Ways of Development // Eurasian Journal of Economic and Business Studies. -2023. - 67(1). -P.27–38. DOI 10.47703/ejebs.v1i67.245.

6. Carrera L. Corporate social responsibility. A strategy for social and territorial sustainability // International Journal of Corporate Social Responsibility. - 2022. - Vol.7(1). - P.1-11. DOI 10.1186/ s40991-022-00074-0.

7. Pustynnikova E.V. Korporativnaya sotsial' naya otvetstvennost' biznesa // Ekonomika i biznes: teoriya i praktika. -2023. -№11-3 (105). DOI 10.24412/2411-0450-2023-11-3-12-16. [in Russian]

8. Newman C., Rand J., Tarp F., Trifkovic N. Corporate social responsibility in a competitive business environment // The Journal of Development Studies. -2020. - Vol. 56(8). -P.1455-1472. DOI 10.1080/00220388.2019.1694144.

9. Yerniyazova A., Smailova Zh. Corporate social responsibility of business in the republic of Kazakhstan // Reports of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. - 2019. -Vol.4 (326). - P.76-82. DOI 10.32014/2019.2518-1483.119.

10. Baltabayeva A.K., Altaibayeva Z.K., Shelomentseva V.P., Mutallyapova S.E., Alimkhanova R.K. Promotion of the Principles of Corporate Social Responsibility and their Implementation by Large Businesses in Kazakhstan // Australasian Accounting, Business and Finance Journal. -2024. - №18(1). -P.172-186. DOI 10.14453/aabfj.v18i1.11.

11. Tauekelova T.B., Abdikerova G.O. Kazakstandik biznestin aleumettik zhauapkershiligin kalyptastyru erekshelikteri // ҚazUU Khabarshysy. Psikhologiya zhane aleumettanu seriyasy. -2021. - №78(3). -B.157-166. DOI 10.26577/JPsS.2021.v78.i3.14. [in Kazakh]

12. Social' naya otvetstvennost' biznesa. Biznes bastama. -2018. URL: https://startinfo.kz/buisness/sozialno-v/. Date of access: 30.05.2025. [in Russian]

Авторлар туралы мәлімет

Ибраимова С.Ж. - э.ғ.к., профессор, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: saule_ibraimova_kz@mail.ru;

Касымова С.Б. - сеньор-лектор, магистр, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: Sanim_81@list.ru;

Каримбаева Г.Ж. - э.ғ.к., асс.-профессор, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: karimbaevagulzan@gmail.com;

Шарипова Д.Б. - сеньор-лектор, магистр, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: Dinara.sharipova.73@mail.ru.

Information about the authors

Ibraimova S.Zh. - Candidate of Economics, Professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: saule_ibraimova_kz@mail.ru;

Kassymova S.B. - Master' s degree, Senior Lecturer, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail:Sanim_81@list.ru;

Karimbayeva G.Zh. - Candidate of Economics, Ass.-Professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: karimbaevagulzan@gmail.com;

Sharipova D.B. - Master' s degree, Senior Lecturer, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: Dinara.sharipova.73@mail.ru.

IRSTI 06.52.41 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1326**

SPECIFICS OF THE TRANSITION TO A CIRCULAR ECONOMY IN KAZAKHSTAN

[1]Y.N. Linok, [1]Y.Y. Mubarakov, [2]B. Zirkler, [1]Y.Y. Sumareva, [1]A.S. Bukhryakova

[1]Kazakh-American Free University, Oskemen, Kazakhstan,
[2]Westsächsische Hochschule Zwickau - University of Applied Sciences, Zwickau, Germany

Corresponding authors: mubarakovyeldar@gmail.com

This article examines the pressing issues of transition to a circular economy in Kazakhstan. The objective of the study is to identify the specifics of this transition and determine measures to establish the key elements of a circular economy in the country. Article highlights the specific conditions of Kazakhstan, including the level of socio-economic development and the country' s capabilities, the availability, extraction, and processing of minerals, the structure of industrial production, population density, territorial factors, and the socio-cultural characteristics of the population. It is demonstrated that these conditions are hindering the transition to a circular economy in Kazakhstan. The main reason for this is the worsening environmental problems in the country and the influence of global experience in transitioning to a circular economy. The article analyzes the main content and evolution of the relevant legislation and regulations. It is noted that it is integrated into the development of a green economy in the country and does not contain a separate law or the necessary policy documents on a circular economy. The article presents the key characteristics of this economy in Kazakhstan, which are compared with positive examples from global experience. Waste management issues in the country are also considered. The article identifies the key steps and process features of Kazakhstan' s transition to a circular economy. It concludes that the country is in the initial stages of developing a circular economy, with only a few elements already in place. Overall, the pace, scale, and results of the transition to a circular economy in Kazakhstan have been comparatively slow. Therefore, proposals are made for improving the effectiveness of this transition, considering the country' s specific characteristics and the potential for implementing global practices.

Keywords: circular economy, Kazakhstan, transition features, conditions and main steps, waste management, implementation.

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ АЙНАЛМАЛЫ ЭКОНОМИКАҒА КӨШУДІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

[1]Я.Н. Линок, [1]Е.Е. Мубараков, [2]Б. Цирклер, [1]Е.Е. Сумарева, [1]А.С. Бухрякова

[1]Қазақстан-Американдық еркін университеті, Өскемен, Қазақстан,
[2]Westsächsische Hochschule Zwickau - Қолданбалы ғылымдар университеті, Цвиккау, Германия,
e-mail: mubarakovyeldar@gmail.com

Бұл мақалада Қазақстандағы айналмалы экономикаға көшудің өзекті мәселелері қарастырылады. Зерттеудің мақсаты - осы өтпелі кезеңнің ерекшеліктерін анықтау және елдегі айналмалы экономиканың негізгі элементтерін белгілеу шараларын анықтау. Мақалада Қазақстанның нақты жағдайлары, соның ішінде әлеуметтік-экономикалық даму деңгейі мен елдің мүмкіндіктері, пайдалы қазбалардың қолжетімділігі, өндірілуі және өңделуі, өнеркәсіптік өндіріс құрылымы, халық тығыздығы, аумақтық факторлар және халықтың әлеуметтік-мәдени ерекшеліктері көрсетілген. Бұл жағдайлар Қазақстандағы айналмалы экономикаға көшуге кедергі келтіретіні көрсетілген. Мұның басты себебі - елдегі экологиялық мәселелердің ушығуы және айналмалы экономикаға көшудегі әлемдік тәжірибенің әсері. Мақалада тиісті заңнама мен ережелердің негізгі мазмұны мен эволюциясы талданады. Оның елдегі жасыл экономиканы дамытуға интеграцияланғаны және айналмалы экономика бойынша жеке заң немесе қажетті саяси құжаттар жоқ екені атап өтілген. Мақалада Қазақстандағы осы экономиканың негізгі сипаттамалары ұсынылған, олар әлемдік тәжірибеден алынған оң мысалдармен салыстырылады. Елдегі қалдықтарды басқару мәселелері де қарастырылады. Мақалада Қазақстанның айналмалы экономикаға көшуінің негізгі қадамдары мен процесінің

ерекшеліктері анықталған. Онда елдің айналмалы экономиканы дамытудың бастапқы кезеңінде екендігі, оның бірнеше элементі ғана бар екендігі туралы қорытынды жасалған. Жалпы алғанда, Қазақстанда айналмалы экономикаға көшудің қарқыны, ауқымы және нәтижелері салыстырмалы түрде баяу болды. Сондықтан, елдің ерекшеліктері мен әлемдік тәжірибелерді енгізу әлеуетін ескере отырып, осы көшудің тиімділігін арттыру бойынша ұсыныстар жасалуда.

Түйін сөздер: айналмалы экономика, Қазақстан, өтпелі кезеңнің сипаттамалары, жағдайлары және негізгі қадамдары, қалдықтарды басқару, енгізу.

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕХОДА К ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКЕ В КАЗАХСТАНЕ

[1]Я.Н. Линок, [1]Е.Е. Мубараков✉, [2]Б. Цирклер, [1]Е.Е.Сумарева, [1]А.С.Бухрякова

[1]Казахстанско-Американский свободный университет, Усть-Каменогорск, Казахстан,
[2]Westsächsische Hochschule Zwickau - Университет прикладных наук, Цвиккау, Германия,
e-mail: mubarakovyeldar@gmail.com

Статья посвящена актуальным вопросам перехода к циркулярной экономике в Казахстане. Цель исследования - выявление особенностей данного перехода и определение мер по формированию основных элементов экономики замкнутого цикла в стране. В ней выделяются особенности условий Казахстана: уровень социально-экономического развития и возможности страны, наличие, добыча, переработка полезных ископаемых и структура промышленного производства, плотность населения и территориальный фактор, социокультурные особенности населения. Показывается, что данные условия «сдерживают» переход к циркулярной экономике в Казахстане. Его основная причина – обострение экологических проблем в стране и влияние мирового опыта перехода к экономике замкнутого цикла. Анализируются основное содержание и эволюция соответствующего законодательства и нормативно-правовых актов. Отмечается, что оно «встроено» в формирование зеленой экономики в стране и не содержит отдельного закона, необходимых программных документов по циркулярной экономике. Показываются основные характеристики данной экономики в Казахстане, которые сравниваются с положительными примерами из мирового опыта. Рассматриваются проблемы управления отходами в стране. Определяются особенности процесса, ключевых шагов по переходу к циркулярной экономике в Казахстане. Делается вывод о том, что в стране идет начальный этап формирования циркулярной экономики, имеются только отдельные ее элементы. В целом в Казахстане сложились сравнительно невысокие темпы, масштабы и результаты перехода к циркулярной экономике. В связи с этим даются предложения по повышению эффективности ее формирования с учетом особенностей страны и возможностей имплементации мирового опыта.

Ключевые слова: циркулярная экономика, Казахстан, особенности перехода, условия и основные шаги, управление отходами, имплементация.

Introduction. The transition to a circular economy is a current trend in many countries worldwide. In developed countries, primarily European ones (Germany, the Netherlands, the UK, and others), it is the foundation of sustainable development. In Kazakhstan, following the adoption of the Concept for the Transition to a Green Economy in 2013, the circular economy is viewed as an important element complementing the existing economic growth model.

The total global circular economy market was estimated at $583.55 billion in 2023 and is projected to grow to $2.9 trillion by 2031- an almost fivefold increase. European countries accounted for a significant share of this market in 2023- approximately 38.8%, with an estimated value of $226.3 billion [1].

A circular economy is an economy in which the renewal and reproduction of resources is ensured through innovation, and mechanisms and tools for their repeated (cyclical) involvement in the economic system are formed and developed [2].

Production and consumption occur in a closed loop, leading the circular economy to be called a closed-loop economy.

It offers several positive effects: reduced environmental impacts, more efficient use of available resources, and the emergence of an additional source of economic growth, increased employment, and more sustainable consumption.

The transition to a circular economy in developed countries, which began in the 1970s, was triggered by a significant increase in environmental problems. Recently, economic benefits have also become increasingly important. In Europe, Germany, in particular, is a recognized leader in the transition to a circular economy, and its experience is widely shared internationally.

Kazakhstan is a developing Eurasian country in the early stages of developing a circular economy. Like Germany, the significant increase in environmental problems triggered the transition to such an economy in Kazakhstan. Global experience in the formation and development of a green economy and a closed-loop economy, particularly in developed countries, also played a significant role.

Theoretical research and practical implementation of the transition to a circular economy are of great interest to us, particularly for developing realistic and effective proposals to accelerate the development of the core elements of such an economy in Kazakhstan. However, the specific characteristics of our country must be taken into account. This is precisely the focus of this article.

Accordingly, its goal is to identify the specific features of the transition to a circular economy in Kazakhstan and determine the necessary steps in this direction, taking into account the potential for implementing successful international practices.

To achieve this goal, the following key objectives must be addressed:

- considering the experience of transition to a circular economy in Kazakhstan;

- identifying the features of this transition in our country;

- providing proposals for improving the efficiency of the transition to a closed-loop economy in Kazakhstan, considering its specific features, as well as the possibilities for implementing international experience.

Materials and methods. The term «circular economy» appeared at the turn of the 80-90s of the last century. Since the late 20th century, scientists from many countries, especially developed ones, have been actively researching the problems of reducing the negative impact of production and consumption on the environment, zero-waste production, and the transition to a circular economy. These include D. Pearce, A. Nies, R. Turner, K. Bowling, P. Antunes, D. D' Amato, G. Daly, P. Ekins, M. Geisdorfer, W. Haas, D. Kirchherr, D. Korhonen, F. Krausmann, P. Lacy, D. Long, S. Ritzen, G. Sandström, W. Spindler, and many others.

By now, the results of research on the transition to a circular economy have been largely systematized, and relevant textbooks for students have appeared. These include general descriptions of the circular economy, its structure and infrastructure, levels, waste and secondary resource management, circular business models, consumer behavior patterns, tax regulation within the circular economy, and more, as well as practical experiences in transitioning to a circular economy in various countries.

Kazakhstani researchers more frequently use the term "circular economy." In recent years, publications by V. Amangeldiyeva, D. Ausharipova, D. Kalmakova, L. Kulumbetova, N. Nurmuhametov, E. Orazbekov, A. Sakhariyeva, L. Salakhatova, Zh. Temerbulatova, S. Tleuova, S. Zeynolla, N. Zhaksybayeva, A. Zhidebekkyzy, and other domestic authors have addressed the issues of transitioning to a circular economy in Kazakhstan.

The literature covers practical experiences in transitioning to a circular economy in various countries and their regional associations, primarily in Europe. Among these are articles devoted to Kazakhstan, which has only just begun to develop the basic elements of a circular economy.

For example, in the article «Towards a Circular

Economy: An Analysis of the Kazakhstani Case», Zhidebekkyzy A., Temerbulatova Zh., Amangeldiyeva B. A. and Sakhariyeva A. analyze the formation and current state of the circular economy in Kazakhstan [3].

Improving the waste management system - a key element of the circular economy in Kazakhstan - is considered, for example, in the article by Zhidebekkyzy A., Temerbulatova Zh. & Bilan Y. [4], a report prepared by Orazbekov E. [5] and others.

D. Ausharipova and L. Kulumbetova examined the circular economy as a tool for developing «green» business in Kazakhstan [6], and, in collaboration with E.Tankova, they examined innovative business models for developing eco-entrepreneurship in the waste sector in Kazakhstan [7]. Zhaksybayeva N., Serikkyzy A. and colleagues examined the Kazakhstani circular business ecosystem [8], etc.

There are also scientific publications devoted to the transition to a circular economy in Kazakhstan in comparison with other Asian countries, primarily Central Asian ones.

Interesting material on Kazakhstan is presented, for example, in the World Bank report «Circular Economy: A Chance for Central Asia» [9], an article by A.B. Dolgushin on the specifics of state regulation of the transition to a circular economy in relation to waste in Asian countries [10], etc.

Varavin E., Kozlova M. and Makovetskiy M. analyzed the implementation of international experience in the field of environmentally responsible investment in Kazakhstan [11].

The article by Zhidebekkyzy A., Moldabekova A., Amangeldiyeva B., Šanova P. also demonstrates differences in the readiness of society, business, government and financial institutions, science and education to develop a circular economy in Kazakhstan [12].

Each of the above-mentioned and many other publications on the transition to a circular economy in Kazakhstan is relevant, presents theoretical and practical interest, and characterizes one or another aspect of this complex, integrated process.

In this regard, we believe that an analysis of the specifics of the transition to a circular economy in Kazakhstan-a developing Eurasian state with a leading economy in Central Asia-will be relevant and productive.

This, among other things, could allow for the effective implementation of international experience in transitioning to a circular economy in Kazakhstan.

Understanding the specifics of the transition to a circular economy in Kazakhstan requires, first and foremost, an analysis of the specific conditions for its formation and development in our country.

This analysis shows, firstly, that the transition to a costly circular economy, which requires significant investment, is determined primarily by the country’ s level of socioeconomic development.

As is well known, the Republic of Kazakhstan is a developing country. Its GDP in 2024 (according to the Trading Economics website) was $288.41 billion overall, with a per capita GDP of $11,850.17.

For a developing country, these are good figures. However, compared to developed countries - leaders in the circular economy - this is modest. For example, in Germany, one of the most developed countries in the world and the largest in Europe by GDP, its overall GDP in 2024 was $4.66 trillion, with a per capita GDP of $54,990.

That is, in terms of these key economic indicators, Kazakhstan was behind Germany by 16.2 and 4.6 times, respectively. Clearly, Kazakhstan is currently unable to transition to a circular economy to the same extent as Germany.

This circumstance is hindering the speed and scale of transformation in Kazakhstan. Therefore, we need to select priorities that align with the country’ s economic potential and capabilities.

Secondly, the structure of industrial production influences the ”urgency” of the transition to a circular economy. As noted in the literature [10], such a transition occurs more quickly and effectively in countries with a deficit of minerals and other natural resources.

Kazakhstan possesses and is developing rich

deposits of various metal ores - zinc, lead, copper, chromium, iron, uranium, gold, aluminum, titanium, molybdenum, beryllium, tantalum, and other rare earth elements - as well as non-metallic minerals - oil, coal, phosphorites, etc. This explains Kazakhstan' s position in the global raw materials market - it is an exporting country.

The extractive industry, which creates relatively low added value, significantly reduces the severity of the problem of resource renewal and, more generally, the transition to a circular economy. Thus, the structure of industrial production in Kazakhstan "restrains" this need.

Thirdly, the pace and scale of the transition to a circular economy in Kazakhstan are also determined by territorial factors-population density and the availability of free waste disposal sites.

Global experience shows that for countries with high population density and a lack of free waste disposal sites, the transition to a circular economy is especially important and inevitable. Short distances between waste management facilities significantly reduce logistics costs and make waste collection, processing, and disposal cheaper. This stimulates the transition to a circular economy.

Results and discussions. As is well known, Kazakhstan has a low population density - approximately 6.6 people/km² (as of 2024). For comparison, in Germany, this figure is approximately 35 times higher - approximately 233 people/km². Consequently, Kazakhstan' s population is dispersed, with distances between settlements and waste management facilities typically large. This negatively impacts on the profitability of waste collection and recycling. As a result, the development of a circular economy in Kazakhstan is being hindered from an economic perspective.

There are also other conditions (factors) that determine the specifics of the transition to a circular economy in various countries, including non-economic ones. One such factor is the socio-cultural factor. This circumstance is also noted in Russian literature [13].

It can be noted, in particular, that Kazakhstanis typically do not consider the separation of solid municipal waste by type; they are often primarily concerned with adhering to the waste collection schedule. It' s no coincidence that attempts to introduce separate waste collection in 2018-2019 in Astana, Aktobe, Semey, Turkestan, and Oskemen were virtually unsuccessful. This also speaks to society' s relatively low readiness for the transition to a circular economy.

In contrast, it' s common for any resident of a Western European country to have several garbage bags in the kitchen-for paper, plastic, glass, and food waste-which are then disposed of in the appropriate bins according to established procedures. This is done automatically, without any reminders.

Thus, the listed key conditions for the formation of a closed-loop economy in Kazakhstan do not play an active stimulating role in the transition to a circular economy.

This, in turn, determines significant characteristics of the process itself and the key steps towards a circular economy.

As is known, the significant increase in environmental problems triggered the transition to a circular economy in Kazakhstan. International experience in the formation and development of a green economy and a closed-loop economy also played an important role.

According to available data [14], by 2024, more than 125 million tons of waste had accumulated in Kazakhstan. Moreover, the volume of municipal waste removed has been steadily increasing in recent years. In 2022, it was 3.8 million tons, in 2023 - 4.1 million tons, and in 2024 - 4.8 million tons. As a result, in these three years alone, this figure has increased by 1 million tons (26.3%).

Currently, there are 2,973 municipal solid waste (MSW) landfills in Kazakhstan, of which only 608 (20.4%) comply with sanitary and environmental standards. Furthermore, in 2024 alone, 4,886 unauthorized landfills were identified in Kazakhstan, 93% of which have been eliminated [14].

In 2013, the Republic of Kazakhstan adopted

the Concept for the Transition to a Green Economy, which includes Section 3.5. «Waste Management System» [15]. This section stipulates that Kazakhstan must essentially re-establish its waste management system due to the lack of the legal and organizational framework required for its optimal functioning. This system must also incorporate elements of the 3R (reduce-reuse-recycle) principles.

To implement the Concept, the Government successively approved two Action Plans, which also defined the objectives for improving the waste management system. Thus, the Plan for the period from 2013 to 2020 set objectives, for example, for the separate collection of household waste from consumers. The Plan for 2021-2030 highlights measures that follow the principles of a circular economy: the development of special support measures for the development of the waste management industry, including its recycling; the development of organic waste processing to produce biogas; and the construction of biogas plants at wastewater treatment plants and poultry farms [10].

In 2015-2016, the principle of extended producer responsibility (EPR) was introduced in Kazakhstan. In this regard, corresponding amendments were made to the Environmental Code of the Republic of Kazakhstan, and government resolutions were adopted, «On Approving the Rules for the Implementation of Extended Obligations of Producers (Importers)» and «On Determining the EPR Operator (Importers)». The primary focus was on the recycling fee that product manufacturers and importers were required to pay to the private enterprise, EPR Operator LLP. Following well-known corruption cases, the functions of the EPR operator were transferred to the state-owned company, Zhasyl Damu JSC, in 2022.

In fact, as international experience shows, this is a broader concept, encompassing the obligations of manufacturers and importers of goods that have lost their consumer properties to collect, transport, process, render harmless, use, and dispose of waste covered by EPR conditions.

In Kazakhstan, there are also specific measures within various government programs that align with the principles of a circular economy. Thus, in 2021, the government adopted the National Project «Zhasyl Kazakhstan» («Green Kazakhstan»). It, among other things, sets out objectives for improving the efficiency of waste management.

Kazakhstan is currently implementing the «Taza Kazakhstan» concept (2024-2029), which aims to foster environmental awareness and increase waste recycling. The Carbon Neutrality Strategy by 2060, which aims to reduce carbon emissions and develop circular business models, and national circular economy standards are also being implemented to facilitate the transition to a circular economy.

In 2024, amendments and additions were made to the Concept for the Transition of the Republic of Kazakhstan to a Green Economy, including the section on waste management. These amendments call for the widespread implementation of separate waste collection, increased recycling, and reuse of both municipal and industrial waste.

The goal of implementing separate waste collection was already included in the Government Action Plan for 2013-2020 but was not implemented in a timely manner.

It should also be noted that all these state-adopted Concepts, Plans, Resolutions, and other policy documents do not contain a comprehensive, systemic, or integrated approach to implementing the transition to a circular economy. A separate law on the circular economy - as in Germany, for example - is absent.

In essence, legislation and steps toward a circular economy in Kazakhstan are «integrated» into the formation and development of a green economy. This, in particular, distinguishes Kazakhstan from, for example, developed Western European countries that are successfully developing a circular economy.

As noted, Kazakhstan places particular emphasis on its waste management system. Table 1 presents statistical data characterizing it across several key indicators for 2021-2024.

An analysis of the presented data shows that the volume of waste received has been steadily

increasing in recent years: from 3,922,100 tons in 2021 to 4,541,800 tons in 2024, an increase of 619,700 tons, or 15.8%.

The volume of sorted waste shows a similar trend. Between 2021 and 2024, it increased from 1,191,700 tons to 1,320,100 tons, or an increase of 128,400 tons (10.8%).

This is clearly illustrated by the diagrams in Figure 1.

Table 1 - Key Indicators Characterizing Kazakhstan' s Waste Management System, 2021–2024

№	Indicators	2021	2022	2023	2024
1	Volume of received waste, thousand tons	3922.1	4003.4	4514.0	4541.8
2	Volume of sorted waste, thousand tons	1191.7	1223.8	1307.8	1320.1
3	Volume of waste sent to third-party organizations, thousand tons.Including:				
3.1	for recycling	393.7	392.0	358.9	588.2
3.2	for disposal	673.6	707.8	862.3	490.4
4	Processed to obtain products (secondary raw materials), thousand tons	18.1	23.3	31.2	49.2

Note: complied by authors based on data [16]

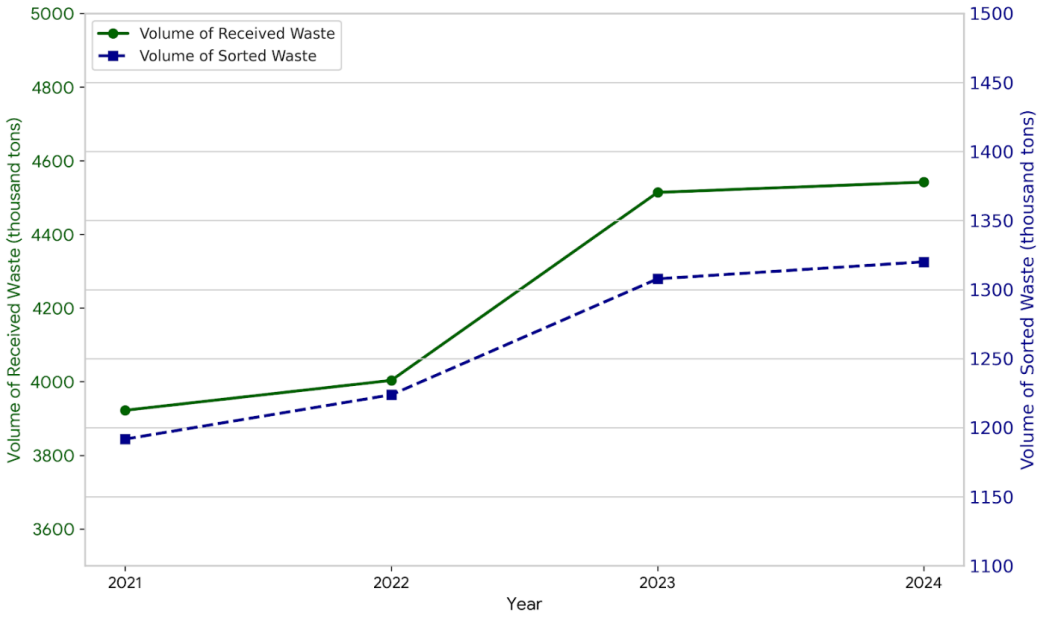


Fig.1 - Trends in Volume of Received and Sorted Waste in Kazakhstan, 2021-2024 (thousand tons)
Note: complied by authors based on data [16]

At the same time, a comparative analysis of these indicators shows that the share of sorted waste in the total volume of received waste remains virtually unchanged. As shown in Figure 2, during the period under review, it was: 30.4% in 2021, 30.6% in 2022, 29.0% in 2023, and 29.1% in 2024. In other words, no positive dynamics are observed.

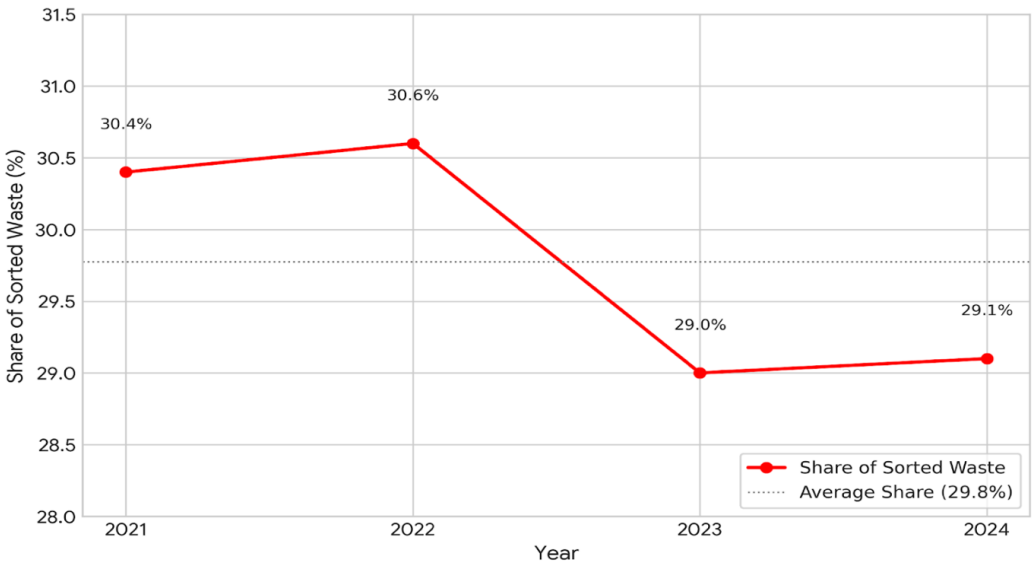


Fig.2 - Percentage Share of Sorted Waste in Total Received Waste, 2021-2024

Note: complied by authors based on data [16]

As for the volume of waste sent to third-party organizations for recycling and disposal, the available statistics show mixed and rather abrupt changes. This prevents any consistent conclusions.

The indicator «processed to produce products (secondary raw materials)» is growing from 18.1 thousand tons in 2021 to 49.2 thousand tons in 2024, an increase of approximately 2.7 times. Figure 3 illustrates this substantial growth. However, in absolute terms, measured in tons, this increase is relatively insignificant.

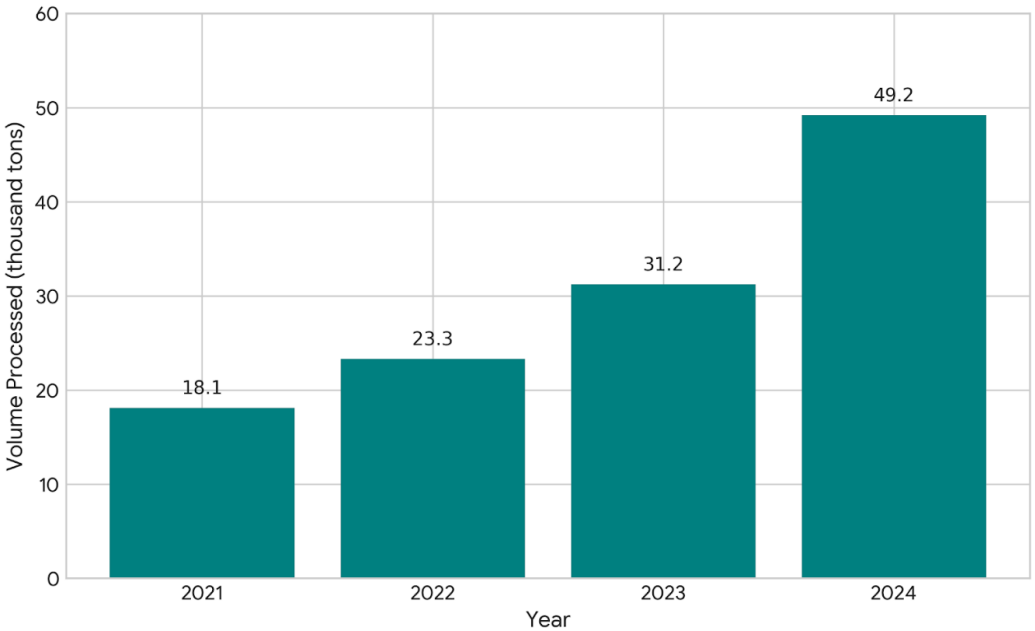


Fig.3 - Volume of Waste Processed to Obtain Products (Secondary Raw Materials) in Kazakhstan, 2021–2024

Note: complied by authors based on data [16]

To effectively manage waste, Kazakhstan has over 50 plastic recycling plants, approximately 40 plants that recycle waste paper, 7 that recycle glass, and approximately 20 that recycle rubber products [14]. In 2024, a plant that recycles batteries opened in Almaty. It should be noted that waste recycling plants in the country are primarily concentrated in Almaty, and transporting raw materials there from other regions of Kazakhstan is usually unprofitable, primarily due to high logistics costs.

Overall, an analysis of Kazakhstan' s solid waste sector reveals several waste management issues:

- the unsystematic nature of the existing legislative framework and regulatory legal acts in this area;

- annual increase in the generation and accumulation of household waste;

- waste collection and removal services are available only to residents of large cities;

- the concentration of solid waste recycling facilities primarily in Almaty and a shortage in other regions;

- underdeveloped waste recycling and disposal businesses;

- low levels of solid waste sorting and recycling;

- the failure of most landfills to meet requirements, with the presence of open dumps;

- the lack of environmental awareness and waste management culture among the majority of the population;

- insufficient training of government officials dealing with green economy issues;

- ineffective attempts at separate waste collection in some cities.

To ensure a successful transition to a circular economy, studying and implementing best international practices is crucial in Kazakhstan. Of particular interest in this regard is the experience of Germany, where a circular economy is the foundation of the country' s sustainable development.

Germany is currently the leader among EU countries in terms of circular economy development.100% of waste is collected separately, 64% of household waste is recycled, 79% of all waste is reused, 14% of necessary raw materials are recovered from waste, etc. [17]

The use of recycled materials significantly reduces energy consumption, in particular: by more than 90% in aluminum production, by approximately 50% in steel production, and by 35% in glass production [17]. For Germany, an industrialized country, this allows for a significant reduction in the extraction and, most importantly, import of natural resources.

Overall, the formation and development of a circular economy in Germany has been systematic and gradual since the early 1970s. The following steps were taken in establishing and improving the recycling and disposal industry [17].

First, political and strategic management was implemented. This entailed creating the necessary legislative framework and regulations, as well as government agencies responsible for implementing and monitoring the process, and assigning responsibilities for waste collection, processing, and disposal.

Second, social development was implemented. This includes fostering environmental awareness among people, their positive attitude toward the circular economy, and continuous training for personnel throughout the industry.

Third, cost and financing were determined and analyzed. This entails identifying and attracting funding sources, obtaining possible subsidies, grants, and incentives, reimbursing costs for waste processing and disposal companies, etc.

Fourth, stimulating the waste recycling market. This step involves implementing programs to support investment in the waste processing and recycling industry, reducing the tax burden, and identifying stable markets for recovered secondary raw materials.

Fifth, technical capabilities. This includes separate waste collection, the use of modern equipment for waste removal, the use of efficient technologies for processing various types of waste, and the availability of specialized waste storage

facilities.

All of this requires studying this experience and identifying the possibilities for its application in Kazakhstan, considering the specifics of the country' s socioeconomic development and mandatory adaptation to national circumstances.

In examining the transition to a circular economy in Kazakhstan, general scientific methods of inquiry were used, such as scientific abstraction, analysis and synthesis, induction and deduction. In addition, comparison, tabulation, and analogy methods were applied. Data from legislation and regulations, statistical and factual materials were also used.

To improve the effectiveness of further steps toward developing a circular economy in Kazakhstan, we believe it is advisable to first examine the specific conditions for transitioning to it in our country. Our previous analysis allows us to identify the following key factors:

- the underlying reason for the transition to a circular economy: the worsening environmental challenges and the impact of global experience in the transition to a circular economy;

- the main priorities for the transition to a circular economy at present: along with environmental challenges, economic factors also have a minor impact;

- the level of socio-economic development: Kazakhstan is a developing country;

- the country' s economic potential to support the transition to a circular economy: Limited compared to developed countries;

- availability of minerals and other natural resources: Some of the largest reserves in the world, with mining and processing of minerals significantly exceeding domestic consumption;

- the structure of industrial production: The extractive industry plays a key role, while the high-tech manufacturing industry is comparatively less developed;

- position in the global raw materials market: An exporting country;

- population density: Low;

- availability of free waste disposal areas: Significant amounts available;

- distances for transporting waste to processing facilities and the associated transport costs: distances are typically long, and logistics costs are also typically high;

- socio-cultural characteristics of the country' s population: there is little inclination among the population to separate waste; entrepreneurship in the circular economy is not prestigious in Kazakhstani society and is in its infancy.

It should be noted that some of the conditions for the transition to a circular economy are virtually impossible to change. These include, first and foremost, the availability of mineral resources, its position in the global raw materials market, and territorial factors. With successful development, the country' s level of socioeconomic development and, consequently, the ability to support these transformations, the structure of industrial production, the mentality of the population and businesses, and population density may change over time.

Overall, the analysis showed that the key conditions for the formation of a circular economy in Kazakhstan do not compel the transition to a closed-loop economy and do not play an active role in this process. This largely determines the relatively low pace, scale, and results of the transition to a circular economy.

This circumstance, in turn, determined the characteristics of the key steps in the transition to a circular economy in Kazakhstan. They are presented in Table 2.

Thus, the analysis shows that there are many unique aspects to the transition to a circular economy in Kazakhstan. These are determined by the country' s prevailing conditions, such as the level of socioeconomic development, the availability of mineral resources, territorial factors, and so on.

Moreover, Kazakhstan' s transition to a circular economy began with a «lag» of approximately 35-40 years compared to developed countries, and this circumstance offers a distinct advantage and additional opportunities for Kazakhstan. Knowing

and building on the successful experience of transitioning to a circular economy-for example, in Germany-may enable its implementation in Kazakhstan to a certain extent. This will allow for more effective development of a circular economy in Kazakhstan, naturally considering the specific characteristics of our country.

Table 2 - Characteristics of the Key Steps in the Transition to a Circular Economy in Kazakhstan

Main characteristics	Features in Kazakhstan
The government's stated start date for the transition to a circular economy	Early 2010s
Adoption of the first legislative act on the circular economy	2013: Concept for the transition of the Republic of Kazakhstan to a green economy (section on the waste management system)
The existence of a system of laws and regulations that ensure the transition to a circular economy	The system has not been established. There is no separate law on the circular economy. Provisions for the transition to a circular economy are mainly integrated into green economy legislation. There are regulations on waste sorting and recycling
The presence of government bodies implementing and monitoring the transition to a circular economy	Special government agencies have not yet been fully formed. Civil servants are insufficiently trained
The existence and implementation of the Extended Producer Responsibility (EPR) system	The EPR system has been formed and implemented with its own characteristics (including the significant role of the recycling fee on vehicles)
The presence of environmental awareness and a modern waste management culture among the population and businesses	Some measures are being taken to develop environmental awareness and a modern waste management culture among the population
Compliance with legislative and regulatory requirements for the circular economy	Incomplete implementation, low implementation and effectiveness. The presence of corruption risks.
Compliance of municipal waste landfills with modern sanitary and environmental requirements	A small proportion of municipal waste landfills comply
The presence of unauthorized dumps	They are available in large quantities and are being partially eliminated
Level of waste sorting and recycling	Low
The presence of a system of enterprises for sorting and processing all major types of waste throughout the country	There are separate enterprises for waste sorting and processing (mainly in Almaty), but the system is not formed
The presence of a market for waste recycling	There are some elements of this market
The result of implementing steps towards a circular economy	The initial stage of the formation of the circular economy is underway, and its individual elements exist

Note: compiled by authors

In our opinion, based on this premise, Kazakhstan needs to prioritize, including by drawing on global experience:

- development of a comprehensive legislative and regulatory framework for the circular economy, including the adoption of a law on the circular economy;

- identification of government agencies responsible for organizing and monitoring the implementation of these laws and regulations;

- raising the level of environmental awareness in Kazakhstani society and its acceptance of the challenges and objectives of the circular economy;

- training of personnel for government agencies and enterprises in the circular economy, including entrepreneurs;

- development and implementation of government support measures for waste recycling enterprises and the creation of products and energy from the resulting raw materials;

- combating unauthorized dumping and creating a system of modern landfills in all regions of the country;

- widespread implementation of separate waste collection;

- implementation of modern technologies and equipment for processing various types of waste;

- creation of waste recycling enterprises and a material recycling system in all regions of the country;

- promotion of businesses operating in the circular economy;

- support for scientific and applied research in the country on circular economy issues with stimulation of subsequent commercialization of their results.

Thus, an analysis of the development of a circular economy in Kazakhstan revealed the specific conditions and, secondly, the process (steps) of transitioning to such an economy. International experience in transformation can be implemented in Kazakhstan, while considering the specific characteristics of our country.

Conclusion. The study shows that the initial reason for the transition to a circular economy in Kazakhstan is the aggravation of environmental problems, as well as the influence of similar experiences in other countries.

The pace, scale, and results of the development of a circular economy in Kazakhstan, which began in 2013, are primarily determined by the specific conditions our country faces for transitioning to such an economy. These include the level of socioeconomic development and the corresponding opportunities for transformation, the availability of minerals and other natural resources, the structure of industrial production, the country' s position in the global raw materials market, population density, the availability of free space for waste disposal, the sociocultural characteristics of the population, and so on.

As the analysis shows, the conditions for the development of a circular economy in Kazakhstan are "restraining" the need to transition to this economy.

The study also highlights the specifics of the process and key steps in the transition to a circular economy in Kazakhstan. This is evident in the existence and implementation of relevant legislation and regulations, the creation of effective government bodies implementing and overseeing the transition to a closed-loop economy, the implementation of the "polluter pays" principle, the development of environmental awareness and understanding of the challenges of transitioning to a circular economy among the population and businesses, and so on.

As a result of the ongoing reforms, Kazakhstan is currently in the initial stages of developing a circular economy, with certain elements already in place.

At the same time, the analysis demonstrates the universality and universality of the same steps in transitioning to a circular economy in Kazakhstan and abroad. Kazakhstan must continue to develop a circular economy in accordance with its national interests and specific characteristics. At the same time, it is advisable to implement best international

practices. This will allow for a more systematic and effective transition to a closed-loop economy, considering the specific characteristics of our country.

Литература

1. Рынок круговой экономики 2024–2031. URL: https://www.kingsresearch.com/ru/circular-economy-market-1046.- Дата обращения: 12.06.2025

2. Рязанова О.Е., Золотарева В.П. Циркулярная экономика: М.: KNORUS, 2025. -117 s. ISBN 978-5-406-01345-8

3. Жидебеккызы А., Темирбулатова Ж., Амангельдиева Б., Сахариева А. На пути к экономике замкнутого цикла: анализ ситуации в Казахстане// Журнал экономических исследований и делового администрирования. - 2023.- № 143(1).- С.16-32. DOI 10.26577/be.2023.v143.i1.02.

4. Zhidebekkyzy, A., Temerbulatova, Z., Bilan, Y. The Improvement Of The Waste Management System In Kazakhstan: Impact Evaluation//Polish Journal of Management Studies, 25(2), 423–439. https://doi: 10.17512/pjms.2022.25.2.27.

5. Оразбеков Е. Отчет «Факторы, способствующие эффективному РОП в Азиатско-Тихоокеанском регионе: уроки развитых и развивающих стран ЕС и Азии. Казахстан. – 2025- 53 с. URL www.switch-asia.eu/site/assets/files/4420/epr_kazakhstan_report_ru.pdf.-Дата обращения:12.06.2025.

6. Аушарипова Д.Е., Кулумбетова Циркулярная экономика как инструмент развития «зеленого» бизнеса в Казахстане// Вестник университета «Туран»- 2020. - № 3. - С.190-196, DOI 10.46914/1562-2959-2020-1-3-190-196.

7. Аушарипова Д.Е., Кулумбетова Л.Б., Танкова Е. Инновационные бизнес-модели для развития экологического предпринимательства в сфере отходов Казахстана// Вестник университета «Туран»- 2023. - № 4. - С.174-185.DOI 10.469/1562-2959-2023-1-4-174-187.

8. Zhaksybayeva, N., Serikkyzy, A., Baktymbet, A., Yousafzai, S. Circular shifts: insights into Kazakhstan’s circular business ecosystem//Cogent Business & Managementю-2024.-Vol.11(1) 11(1):2431652. DOI 10.1080/23311975.2024.2431652.

9. World Bank. Circular Economy as an Opportunity for Central Asia - Summary Report (English). Washington, D.C.: World Bank Group. http://documents.worldbank.org/curated/en/099052024074569900.- accessed on 23.08.2025.

10. Долгушин А.Б. Особенности государственного регулирования перехода на экономику замкнутого цикла в отношении отходов в странах Азии// Вестник российского университета кооперации//Central Asian Economic Review. - 2022. - № 4(50).- С.21-28.

11. Варавин Е.В., Козлова М.В., М.Ю. Маковецкий Развитие экологически ответственного инвестирования: имплементация зарубежного опыта для Казахстана// Central Asian Economic Review.- 2021.-№ 4.- С.52-63. DOI 10.52821/2789-4401-2021-4-52-63.

12. Zhidebekkyzy A., Moldabekova A., Amangeldiyeva B., Šanova P. Transition to a circular economy: Exploring stakeholder perspectives in Kazakhstan//Journal of International Studies. -2023.-Vol.16(3).- P.144-158. DOI 10.14254/2071-8330.2023/16-3/8.

13. Zhidebekkyzy A., Moldabekova A., Amangeldiyeva B., Streimikis J. Assessment of factors influencing pro-circular behavior of a population//Economics & Sociology. - 2022.-Vol.15(3)-P.202-215. DOI 10.14254/2071-789x.2022/15-3/12.

14. Казинформ.125 млн тонн мусора скопилось на казахстанских свалках: кто виноват, и что делать? URL: https://www.inform.kz/ru/

125-mln-tonn-musora-skopilos-na-kazahstanskih-svalkah-kto-vinovat-i-chto-delat-d815d7- Дата обращения: 12.06.2025

15. О концепции по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике» URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/U1300000577- Дата обращения: 12.06.2025

16. Окружающая среда – Показатели «зеленой экономики. https://stat.gov.kz/ru/

17. Таскин Ф.А. Реализация концепции экономики замкнутого цикла в Германии// научно-Концепт. -2024. -№ 03. - С.193-199.DOI 10/24412/2304-120X-2024-13001.

References

1. Rynok krugovoj jekonomiki 2024-2031. URL: https://www.kingsresearch.com/ru/circular-economy-market-1046.- Data obrashhenija: 12.06.2025. [in Russian]

2. Rjazanova O.E., Zolotareva V.P. Cirkuljarnaja jekonomika: M.: KNORUS, 2025. -117 s. ISBN 978-5-406-01345-8. [in Russian]

3. Zhidebekkyzy A., Temirbulatova Zh., Amangel' dieva B., Saharieva A. Na puti k jekonomike zamknutogo cikla: analiz situacii v Kazahstane// Zhurnal jekonomicheskih issledovanij i delovogo administrirovanija. - 2023.- № 143(1).- S.16-32. DOI 10.26577/be.2023.v143.i1.02. [in Russian]

4. Zhidebekkyzy, A., Temerbulatova, Z., Bilan, Y. The Improvement Of The Waste Management System In Kazakhstan: Impact Evaluation//Polish Journal of Management Studies, 25(2), 423–439. https://doi: 10.17512/pjms.2022.25.2.27. [in Russian]

5. Orazbekov E. Otchet «Faktory, sposobstvujushhie jeffektivnomu ROP v Aziatsko-Tihookeanskom regione: uroki razvityh i razvivajushhih stran ES i Azii. Kazahstan. – 2025- 53 s. URL www.switch-asia.eu/site/assets/files/4420/epr_kazakhstan_report_ru.pdf .- Data obrashhenija:12.06.2025. [in Russian]

6. Ausharipova D.E., Kulumbetova Cirkuljarnaja jekonomika kak instrument razvitija «zelenogo» biznesa v Kazahstane// Vestnik universiteta «Turan»- 2020. - № 3. - S.190-196, DOI 10.46914/1562-2959-2020-1-3-190-196. [in Russian]

7. Ausharipova D.E., Kulumbetova L.B., Tankova E. Innovacionnye biznes-modeli dlja razvitija jekologicheskogo predprinimatel' stva v sfere othodov Kazahstana// Vestnik universiteta «Turan»- 2023. - № 4. - S.174-185.DOI 10.469/1562-2959-2023-1-4-174-187. [in Russian]

8. Zhaksybayeva, N., Serikkyzy, A., Baktymbet, A., Yousafzai, S. Circular shifts: insights into Kazakhstan's circular business ecosystem//Cogent Business & Managementю-2024.-Vol.11(1) 11(1):2431652. DOI 10.1080/23311975.2024.2431652.

9. World Bank. Circular Economy as an Opportunity for Central Asia - Summary Report (English). Washington, D.C.: World Bank Group. http://documents.worldbank.org/curated/en/099052024074569900.- accessed on 23.08.2025.

10. Dolgushin A.B. Osobennosti gosudarstvennogo regulirovanija perehoda na jekonomiku zamknutogo cikla v otnoshenii othodov v stranah Azii// Vestnik rossijskogo universiteta kooperacii//Central Asian Economic Review. - 2022.- № 4(50).- S.21-28. [in Russian]

11. Varavin E.V., Kozlova M.V., M.Ju. Makoveckij Razvitie jekologicheski otvetstvennogo investirovanija: implementacija zarubezhnogo opyta dlja Kazahstana// Central Asian Economic Review. - 2021.-№ 4.- S.52-63. DOI 10.52821/2789-4401-2021-4-52-63. [in Russian]

12. Zhidebekkyzy A., Moldabekova A., Amangeldiyeva B., Šanova P. Transition to a circular economy: Exploring stakeholder perspectives in Kazakhstan//Journal of International Studies. -2023.-Vol.16(3).- P.144-158. DOI 10.14254/2071-8330.2023/16-3/8.

13. Zhidebekkyzy A., Moldabekova A., Amangeldiyeva B., Streimikis J. Assessment of factors influencing pro-circular behavior of a population//Economics & Sociology. - 2022.-Vol.15(3)-P.202-215. DOI 10.14254/2071-789x.2022/15-3/12.

14. Kazinform.125 mln tonn musora skopilos’ na kazahstanskih svalkah: kto vinovat, i chto delat’? URL: https://www.inform.kz/ru/125-mln-tonn-musora-skopilos-na-kazahstanskih-svalkah-kto-vinovat-i-chto-delat-d815d7- Data obrashhenija: 12.06.2025. [in Russian]

15. O koncepcii po perehodu Respubliki Kazahstan k «zelenoj jekonomike» URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/U1300000577- Data obrashhenija: 12.06.2025. [in Russian]

16. Okruzhajushhaja sreda – Pokazateli «zelenoj jekonomiki. https://stat.gov.kz/ru/

17. Taskin F.A. Realizacija koncepcii jekonomiki zamknutogo cikla v Germanii// nauchno-Koncept. - 2024. -№ 03. - S.193-199.DOI 10/24412/2304-120X-2024-13001. [in Russian]

Information about the authors

Linok Y.N. - student, Kazakh-American Free University, Oskemen, Kazakhstan, e-mail: linok_yana@bk.ru;

Mubarakov Y.Y. - PhD student, Kazakh-American Free University, Oskemen, Kazakhstan, e-mail: mubarakovyeldar@gmail.com;

Zirkler B. - PhD, professor, Westsächsische Hochschule Zwickau – University of Applied Sciences, Zwickau, Germany; e-mail: bernd.zirkler@fh-zwickau.de;

Sumareva Y.Y. - senior lecturer-researcher of the Business Department, Kazakh-American Free University, Oskemen, Kazakhstan, e-mail: xee_89@mail.ru;

Bukhryakova A.S. – master’s student, Kazakh-American Free University, Oskemen, Kazakhstan, e-mail: aminabukhryakova@gmail.com.

Сведения об авторах

Линок Я.Н.- студент, Казахстанско-Американский свободный университет, Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: linok_yana@bk.ru;

Мубараков Е.Е. - PhD докторант, Казахстанско-Американский свободный университет, Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: mubarakovyeldar@gmail.com;

Цирклер Б. - PhD, профессор, Westsächsische Hochschule Zwickau -Университет прикладных наук, Цвиккау, Германия, e-mail: bernd.zirkler@fh-zwickau.de;

Сумарева Е.Е. - старший преподаватель-исследователь, Казахстанско-Американский свободный университет, Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: xee_89@mail.ru;

Бухрякова А.С. - магистрант, Казахстанско-Американский свободный университет, Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: aminabukhryakova@gmail.com.

АСЕМ ОМАРКОЖАЕВОЙ – 50!



Коллектив Казахского университета технологии и бизнеса имени К. Кулажанова сердечно поздравляет кандидата экономических наук, доцента кафедры «Туризм и сервис», руководителя отдела науки и коммерциализации Омаркожаеву Асем Нурбергеновну – с 50-летием!

Асем Нурбергеновна – эксперт в развитии туризма и индустрии гостеприимства, инновационных и цифровых подходах в образовании и науке, вопросах инклюзивного и устойчивого развития, а также в коммерциализации результатов научных исследований. Коллеги ценят ее за способность сочетать академический подход с практико-ориентированными решениями, уделяя особое внимание развитию научного потенциала, междисциплинарным исследованиям и взаимодействию науки с бизнес-средой.

За плечами юбиляра более 50 научных публикаций, в том числе статей в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНВО РК, а также публикаций в международных научных журналах, индексируемых в базе Scopus (индекс Хирша – 2).

Асем Нурбергеновна активно участвует в реализации научных и образовательных проектов, развитии инновационной и исследовательской инфраструктуры университета, формировании и сопровождении научных инициатив, а также в поддержке публикационной активности профессорско-преподавательского состава, магистрантов и студентов. За вклад в развитие науки и высшего образования неоднократно отмечалась грамотами и благодарственными письмами.

Поздравляем Асем Нурбергеновну с юбилеем и от всего сердца желаем крепкого здоровья, неиссякаемого потока сил, идей и исследовательского энтузиазма, успехов во всех начинаниях!

Редактор: Оспанова М.К.
Верстка: Ундасынов Р.Е.
Подписано в печать: 30.12.2025 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